



**ANÁLISIS INTEGRAL DE LA
VULNERABILIDAD Y RIESGO A
INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO
CÚPIRA DESDE EL SECTOR TULIPÁN HASTA
LA CONFLUENCIA CON EL RÍO SAN DIEGO,
SECTOR VALLE VERDE DEL MUNICIPIO SAN
DIEGO, ESTADO CARABOBO**

Autores:

Cupen B. Francisco A
Hernández V. Henry E

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono (0241) 8714240 (máster)



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS INTEGRAL DE LA VULNERABILIDAD Y RIESGO A INUNDACIONES EN LA
CUENCA DEL RÍO CÚPIRA DESDE EL SECTOR TULIPÁN HASTA LA CONFLUENCIA
CON EL RÍO SAN DIEGO, SECTOR VALLE VERDE DEL MUNICIPIO SAN DIEGO,
ESTADO CARABOBO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

Autores: Cupen Francisco
C.I.: 21.485.608
Hernández Henry
C.I.:21.217.296
Tutor: Ing. Medina Ángel
C.I.:15.299.27

San Diego, 2017



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Ángel Medina portador de la cédula de identidad N° 15.299.274, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos Cupen Francisco, portador de la cedula de identidad N° 21.485.608, y Hernández Henry, portador de la cédula de identidad N° 21.217.296, titulado **ANÁLISIS INTEGRAL DE LA VULNERABILIDAD Y RIESGO A INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO CÚPIRA DESDE EL SECTOR TULIPÁN HASTA LA CONFLUENCIA CON EL RÍO SAN DIEGO, SECTOR VALLE VERDE DEL MUNICIPIO SAN DIEGO, ESTADO CARABOBO**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los _____ días del mes de _____ del año dos mil
diecisiete.

Ing. Medina Ángel.
C.I.: 15.299.274



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

San Diego, 06 de abril de 2017

ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **“ANÁLISIS INTEGRAL DE LA VULNERABILIDAD Y RIESGO A INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO CÚPIRA DESDE EL SECTOR TULIPÁN HASTA LA CONFLUENCIA CON EL RÍO SAN DIEGO, SECTOR VALLE VERDE DEL MUNICIPIO SAN DIEGO, ESTADO CARABOBO”** ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Medina Ángel

Tutor Académico

Firma

Fecha

Ing. Yáñez de Pizzella Alicia

Tutor Metodológico

Firma

Fecha

ÍNDICE

	Pp.
CONTENIDO	
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE CUADROS	xii
RESUMEN INFORMATIVO	xvi
ÍNDICE	viii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO	4
I EL PROBLEMA	4
1.1 Planteamiento del problema	4
1.2 Formulación del problema	5
1.3 Objetivo de la investigación	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 Justificación de la investigación	6
1.5 Alcance y Delimitaciones de la Investigación	7
II MARCO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes de la investigación	9
2.2. Bases teóricas	17
2.2.1. Hidrografía en Venezuela	17
2.2.2. Cuenca Hidrológica	18
2.2.3. Área de la Cuenca	19
2.2.4. Perímetro, Cauce principal y Longitud	19
2.2.5. Consideraciones Generales de los Ríos	19
2.2.6. Caudal de un Río	22
2.2.7. Precipitación	22
2.2.8. Medición de la precipitación	23

2.2.9.	Intensidad de la precipitación	23
2.2.10.	Duración de la lluvia	23
2.2.11.	Frecuencia	23
2.2.12.	Tipos de Lluvias	24
2.2.13.	Evaporación	26
2.2.14.	Infiltración	26
2.2.15.	Escurrimientos Superficiales	26
2.2.16.	Precipitación media	27
2.2.17.	Probabilidad de lluvia	27
2.2.18.	Probabilidad de la lluvia esperada	27
2.2.19.	Caudal	28
2.2.20.	Crecidas de un Río y factores que influyen en el proceso	28
2.2.21.	Inundaciones y sus Causas	30
2.2.22.	Tipos de inundaciones	31
2.2.23.	Consecuencias de los Procesos de Crecida e Inundación	31
2.2.24.	Peligrosidad, Vulnerabilidad y Percepción del Riesgo en Crecidas e Inundaciones	33
2.2.25.	Grado de Riesgo en Diferentes Tipos de Crecidas e Inundaciones	36
2.2.26.	Descripción del Método Racional	37
2.2.27.	Procedimiento para la estimación del coeficiente de escurrimiento (C) en cuencas rurales	43
2.2.28.	Procedimiento para la estimación del coeficiente de escurrimiento (C) en cuencas urbanas	45
2.2.29.	Limitaciones del Método Racional según autores	45
2.2.30.	Cálculo aproximado de la altura de inundación, Método de Chezy y Manning	47
2.2.31.	Método Clark o Hidrograma Unitario	51

2.2.32.	Drenajes	56
2.3.	Bases Legales	56
2.4.	Definición de Términos Básicos	62
	III MARCO METODOLÓGICO	64
3.1.	Tipo de investigación	64
3.2.	Diseño de la Investigación	64
3.3.	Nivel de la Investigación	65
3.4.	Población y muestra	66
3.5.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	66
3.6.	Fases Metodológicas	67
	IV RESULTADOS	69
4.1	Evaluar la información hidrológica existente y su relación con los eventos de inundaciones ocurridos en la cuenca	69
4.1.1.	Estudios Hidrológicos	69
4.1.2.	Información Cartográfica	73
4.2.	Analizar el comportamiento hidráulico del cauce del río Cúpira en eventos de diferentes periodos de retorno	75
4.2.1.	Área total de la cuenca	75
4.2.2.	Longitud del cauce principal	76
4.2.3.	Pendiente media del cauce	77
4.2.4.	Tiempo de Concentración	77
4.2.5.	División de la cuenca	78
4.2.6.	Intervalo de separación entre isocronas, Tu	78
4.2.7.	Diagrama de Área – Tiempo	80
4.2.8.	Calculo de las Intensidades respecto a Tu	80
4.2.9.	Obtención de la precipitación efectiva total en cada subárea	80
4.2.10.	Obtención del Hidrograma total	83

4.3.	Investigar las propiedades y características de los suelos adyacentes al río Cúpira	116
4.3.1.	Resultados del Estudio de Suelos del puente sobre el río Cúpira sector Valle de Oro	116
4.3.2.	Resultados de los Estudios de suelos en distintas zonas de San Diego	120
4.4	Diseñar un mapa de riesgo de zonas inundables del tramo en estudio de la cuenca del río Cúpira del municipio San Diego	124
4.5	Estimar la vulnerabilidad de las zonas adyacentes al río Cúpira propensas a inundaciones en función del uso del suelo	133
	CONCLUSIONES	134
	RECOMENDACIONES	136
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	138

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	Pp.
FIGURA	
1 Inundación sector Valle de Oro 28/09/2012	13
2 Inundaciones 08/09/2016	14
3 Puente sector Bomba Mobil (11/10/2016)	16
4 Tributarios, y cauce principal de una cuenca hidrográfica	19
5 Partes de un Rio	20
6 Siete mayores eventos catastróficos por inundaciones y deslaves en Venezuela según el número de muertes.	35
7 Peligrosidad y Vulnerabilidad en Crecidas e Inundaciones	36

8	Grafico Probabilístico de Gumbel	42
9	Curvas IDF	43
10	Tabla de Factores de Clasificación/C	44
11	Tabla de Valores de C según la cubierta vegetal	44
12	Tabla C para áreas en Km ²	44
13	Tabla de Características de la Superficie	46
14	Radio Hidráulico	48
15	Perímetro mojado	48
16	Tabla de Valores del coeficiente n de rugosidad de Manning	50
17	Sección Transversal del cauce	51
18	Secciones geométricas más utilizadas en canales	51
19	Diagrama de Área – Tiempo	52
20	Grafico K-tiempo de concentración	55
21	Data meteorológica ordenada, Estación San Diego	70
22	Papel probabilístico Gumbel tipo I, 15, 30 minutos, 1 hora	71
23	Papel probabilístico Gumbel tipo I, 2, 3, 6, 12, 24 horas	71
24	Curvas IDF obtenidas de los datos de la estación San Diego	72
25	Cuenca del Río Cúpira	73
26	Curvas de Nivel de la cuenca Río Cúpira	74
27	Perfil longitudinal del Río Cúpira	76
28	Grafico Diagrama Área – Tiempo	79
29	Hidrograma resultante Patron A-5Años	106
30	Hidrograma resultante Patron A-10 Años	106
31	Hidrograma resultante Patron A-25 Años	107
32	Hidrograma resultante Patron A-50 Años	107
33	Hidrograma resultante Patron A-100 Años	108
34	Hidrograma resultante Patron B-5 Años	108

35	Hidrograma resultante Patron B-10 Años	109
36	Hidrograma resultante Patron B-25 Años	109
37	Hidrograma resultante Patron B-50 Años	110
38	Hidrograma resultante Patron B-100 Años	110
39	Hidrograma resultante Patron C-5Años	111
40	Hidrograma resultante Patron C-10 Años	111
41	Hidrograma resultante Patron C-25 Años	112
42	Hidrograma resultante Patron C-50 Años	112
43	Hidrograma resultante Patron C-100 Años	113
44	Hidrograma resultante Patron D-5 Años	113
45	Hidrograma resultante Patron D-10 Años	114
46	Hidrograma resultante Patron D-25 Años	114
47	Hidrograma resultante Patron D-50 Años	115
48	Hidrograma resultante Patron D-100 Años	115
49	Ubicación del terreno en Estudio	117
50	Leyenda: símbolos litológicos	118
51	Perfiles litológicos probables del terreno	119
52	Perfil litológico N° 1	121
53	Perfil litológico N° 2	122
54	Perfil litológico N° 3	122
55	Perfil litológico N° 4	123
56	Perfil litológico N° 5	123
57	Coefficientes de permeabilidad (k)/ Tipo de suelo – permeabilidad	124
58	Curvas de nivel del tramo de estudio del rio Cúpira	126
59	Abrir formato de AutoCAD Civil 3D	127
60	Ventana de introducción del coeficiente de Manning	127
61	Introducción del coeficiente de Manning	128

62	Vista de planta del cauce con sus progresivas	128
63	Ventana de introducción de data hidráulica	129
64	Introducción de condiciones de borde	130
65	Selección de plan	131
66	Aprobación de cálculos	132
67	Sección analizada, aprobación de cálculos	132

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO		Pp.
TABLA		
1	Áreas de las curvas isócronas	78
2	Datos a Introducir del diagrama Área – Tiempo	79
3	Intensidades obtenidas según duración Tu	80
4	Calculo del Fp, Coeficiente de Escorrentía Promedio	80
5	Factores utilizados para el cálculo de la precipitación efectiva	80
6	Factores utilizados para el cálculo de la precipitación efectiva	80
7	Precipitación para Tr = 5 Años	81
8	Precipitacion para Tr = 10 Años	81
9	Precipitacion para Tr = 25 Años	82
10	Precipitacion para Tr = 50 Años	82
11	Precipitacion para Tr = 100 Años	83
12	Áreas entre curvas Isocronas	84
13	Lluvia Efectiva, Patron A	84
14	Lluvia Efectiva, Patron B	84

15	Lluvia Efectiva, Patron C	84
16	Lluvia Efectiva, Patron D	85
17	Calculo de Co, C1 y C2	85
18	Calculo de Ci	85
19	Muskingum resultante Patron A-5 Años	86
20	Muskingum resultante Patron A-10 Años	87
21	Muskingum resultante Patron A-25 Años	88
22	Muskingum resultante Patron A-50 Años	89
23	Muskingum resultante Patron A-100 Años	90
24	Muskingum resultante Patron B-5 Años	91
25	Muskingum resultante Patron B-10 Años	92
26	Muskingum resultante Patron B-25 Años	93
27	Muskingum resultante Patron B-50 Años	94
28	Muskingum resultante Patron B-100 Años	95
29	Muskingum resultante Patron C-5 Años	96
30	Muskingum resultante Patron C-10 Años	97
31	Muskingum resultante Patron C-25 Años	98
32	Muskingum resultante Patron C-50 Años	99
33	Muskingum resultante Patron C-100 Años	100
34	Muskingum resultante Patron D-5 Años	101
35	Muskingum resultante Patron D-10 Años	102
36	Muskingum resultante Patron D-25 Años	103
37	Muskingum resultante Patron D-50 Años	104
38	Muskingum resultante Patron D-100 Años	105

ÍNDICE DE CUADROS

CONTENIDO		Pp.
CUADRO		
1	Tabla de Municipios Prioritarios de Intervención para la Gestión Integral de Riesgo en Venezuela	37



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS INTEGRAL DE LA VULNERABILIDAD Y RIESGO A
INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO CÚPIRA DESDE EL
SECTOR TULIPÁN HASTA LA CONFLUENCIA CON EL RÍO SAN
DIEGO, SECTOR VALLE VERDE DEL MUNICIPIO SAN DIEGO,
ESTADO CARABOBO**

Autores: Cupen Francisco

Hernández Henry

Tutor: Ing. Medina Ángel.

Fecha: abril, 2017

RESUMEN INFORMATIVO

El presente trabajo de grado tiene como finalidad desarrollar un análisis de riesgo y vulnerabilidad para río Cúpira desde el sector Tulipán hasta la confluencia con el río San Diego, sector Valle Verde donde se evaluará las condiciones teóricas de caudal del río, adicionalmente la investigación del suelo en la adyacencia de diferentes tramos del río y la data hidrológica que ha ocasionado inundaciones en el municipio San Diego por el desborde del río Cúpira. Para el desarrollo de este trabajo se hizo uso de software de cálculo, así como también métodos de cálculo de caudal aportado por la cuenca en estudio, específicamente en el tramo que se especifica en la investigación. Permitiendo con los resultados arrojados, hacer reflexiones y conclusiones que permitan brindar y ofrecer información a la población y a los entes de seguridad y protección civil sobre las consideraciones que deben tener todos los habitantes del municipio San Diego, específicamente todo asentamiento cercano a las adyacencias del río Cúpira. Todos los lineamientos teóricos para la creación de este trabajo de grado fueron consignados como normas, leyes, criterios, consideraciones y demás que sean lo más acertadas posible con el fin de abarcar todos los puntos principales a analizar los parámetros que definan el riesgo y la vulnerabilidad del río Cúpira y las influencias que este tiene en el municipio. Se hizo uso de data topográfica, hidrológica y de suelo, correspondiente al cauce del río.

Descriptor: Cuenca, Río Cúpira, Vulnerabilidad, Inundación, Riesgo, Sectores, Peligrosidad.

INTRODUCCIÓN

Históricamente en Venezuela como resultado de los procesos globales, ha ocurrido una variación climática donde las estructuras hidráulicas calculadas se han visto cargadas por solicitaciones para las que no fueron calculadas y esto se ha traducido en problemas como inundaciones, deslaves, etc. Estos desastres naturales han sido considerados como los eventos más influyentes en lo que respecta a la pérdida de vidas y bienes materiales a lo largo de toda la historia, tal cual como se conoce el evento de la tragedia de Vargas, uno de los eventos más impactantes en el país y de igual manera en los años siguientes se han venido presentando fenómenos climatológicos influyentes que han influenciado en el incremento de la ocurrencia de las inundaciones y deslaves.

Se sabe que Venezuela es un país que debido a que se encuentra en una zona intertropical, el clima de Venezuela es cálido y lluvioso en general, pero debido a la orografía, la dirección dominante de los vientos, la disposición de las alineaciones (respecto a las corrientes marinas), se presentan varios tipos climáticos que son casi los mismos que se pueden encontrar en las latitudes intertropicales.

Claro está que su caracterización bi-estacionaria es una variable de vital importancia en vista de que se sabe que el periodo lluvioso con una duración de 6 meses comenzando en Mayo y culminando para el mes de noviembre, esto permite establecer un periodo crítico en el que los ríos se ven alimentados por la cantidad de agua proveniente de la temporada fluvial, no obstante se traduce a su vez en un periodo de riesgo para la población venezolana por los prolongados tiempos de lluvias continuas suponen un peligro inminente y en mayor proporción debido al crecimiento poblacional, el incremento a nivel de construcción y asentamientos urbanos propone una modificación en los coeficientes de escorrentía superficial,

sustituyendo suelos capaces de absorber agua por material asfáltico que cuya composición aporta un incremento proporcional al agua que escurre superficialmente y que por consiguiente termina desembocando en los ríos a una mayor velocidad.

Por lo tanto, si se añade un crecimiento poblacional, una mayor ocupación de terreno natural por terrenos en construcción ya sea por estructuras y carreteras y en adición una falta de conciencia humana en lo que respecta a la preservación impecable de los ríos se obtiene como resultado, una alta probabilidad de que ocurran inundaciones y crecidas que afectan a la población.

Dicho hecho como las inundaciones y crecidas han tenido una concurrente tendencia en el estado Carabobo, municipio San Diego, cuya zona alta y media se encuentra en las cuencas de los ríos San Diego y Cúpira los cuales convergen aguas abajo en un solo cauce conformando el río Los Guayos. Para todo estudio de cuencas es de vital importancia realizar un estudio de análisis de riesgo y vulnerabilidad que pueda detallar el nivel de impacto social, económico y ambiental que este pueda causar en los habitantes de la localidad.

Es por ello que en la presente investigación se buscó de dar a conocer la mayoría de las variables que influyen en las inundaciones y crecidas, se desarrolló en 4 capítulos donde, el capítulo I consistió sobre el planteamiento del problema que se le dio solución, los objetivos que describen las fases de estudio del trabajo de investigación y la justificación por la que se realizó la investigación, luego pasó a un capítulo II donde se evidenciaron los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y legales y un conjunto de términos básicos que se deben tener en cuenta, siguiendo después a un capítulo III que comprende la metodología, el nivel y fases que se desarrollaron a lo largo de la investigación y finalizando con un capítulo IV que se basó en los recursos necesarios a usar para la realización de la investigación.

Todos estos capítulos tuvieron la finalidad general de responder interrogantes de cómo estos eventos afectan a la comunidad del municipio San Diego, donde el caso de estudio propuesto en este trabajo de grado se ubicó en el río Cúpira en el tramo desde el sector Tulipán hasta la confluencia con el río San Diego en el sector valle verde. Además, se propuso y explicó el evalúo de variables como vulnerabilidad, peligrosidad, amenaza y riesgo al que son vulnerables los habitantes del municipio.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Las lluvias representan un papel de vital importancia en cuanto análisis de caudal de un río se refiere en vista de ser el primer aporte, si a esto se le añade un volumen de aguas provenientes de desagües a nivel urbano, se considera como un volumen que progresivamente incrementara su nivel que previamente estimado por el aporte de las lluvias, no obstante, por efectos de negligencia de carácter antropogénico también se presenta casos de desechos arrojados a los ríos lo que representan obstáculos para los cauces y por consiguiente un incremento en los niveles de caudal que transitan por un río.

En vista de estos factores, los eventos como las inundaciones ocurren ocasionando pérdidas materiales y en casos extremos humanas. Es por esto que los planes de contingencia, gestión de amenazas y riesgos tanto locales como globales son llevados a cabo para categorizar las zonas cuya probabilidad de ser afectadas por estos eventos sean elevadas, en adición de a medida de un análisis eficaz se puede prevenir un mayor número de pérdidas y afectaciones.

La consideración primordial del presente trabajo de investigación fue el río Cúpira, catalogado como el principal aporte a los eventos de inundaciones que han ocurrido en el municipio San Diego, esto se podría adjudicar a los cambios en la intensidad de las lluvias que han sucedido actualmente dejando a las estructuras hidráulicas subestimadas sin poder contener el nivel de caudal.

A su vez la relación proporcional evidenciada entre el incremento de la ocupación urbana en el municipio San Diego lo que trae consigo el aumento del

coeficiente de Escorrentía por tener una mayor cantidad de áreas pobladas que a su vez hidrológicamente se traduce en un incremento del caudal máximo que puede aportar toda la cuenca.

El caso de estudio propuesto en este trabajo de grado se ubicó en el río Cúpira en el tramo desde el sector Tulipán hasta la confluencia con el río San Diego en el sector valle verde.

1.2. Formulación del problema

En concordancia con lo anteriormente expuesto, se plantea la siguiente interrogante, ¿Cómo se podría determinar de manera integral las causas y variables que inciden en la vulnerabilidad y riesgo a inundaciones en la cuenca del río Cúpira desde el sector Tulipán hasta la confluencia con el río San Diego, sector Valle Verde del municipio San Diego, estado Carabobo?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Analizar la vulnerabilidad y riesgo de inundaciones en la cuenca del río Cúpira desde el sector Tulipán hasta la confluencia con el río San Diego, sector Valle Verde del municipio San Diego, estado Carabobo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la información hidrológica existente y su relación con los eventos de inundaciones ocurridos en la cuenca.
- Analizar el comportamiento hidráulico del cauce del río Cúpira en eventos de diferentes periodos de retorno.
- Investigar las propiedades y características de los suelos adyacentes al río Cúpira.
- Diseñar un mapa de riesgo de zonas inundables del tramo en estudio de la cuenca del río Cúpira del municipio San Diego.

- Estimar la vulnerabilidad de las zonas adyacentes al río Cúpira propensas a inundaciones en función del uso del suelo.

1.4 Justificación de la Investigación

Toda comunidad, estado, país, posee un plan de contingencia en función de los riesgos a nivel de desastres naturales, diseñados específicamente para la prevención y el salvaguardo de sus habitantes en circunstancias de emergencia, estos prevén y estiman las posibles pérdidas que pueden verse ocasionadas por los eventos ocasionados por la naturaleza. Por esta razón, es tan importante estudiar y contemplar los riesgos en la planificación territorial, repercutiendo en un medio más seguro para la ciudadanía y para sus bienes.

Además, el presente estudio hoy en día es muy factible, ya que se dispone de los conocimientos técnicos, para contemplar la mayor parte de los riesgos naturales y establecer instrumentos de análisis, como los mapas de riesgos. El problema es que la mayor parte de la información existente está disgregada o fragmentada, y se ha venido realizando a diferentes escalas, pasando entre marcos globales que quizás no contemplan la suficiente información específica sobre cada región que contempla distintos parámetros de seguridad que son creados en función de los análisis de vulnerabilidad y riesgo ante eventos naturales.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo analizar la vulnerabilidad y riesgo de inundaciones en la cuenca del río Cúpira desde el sector hasta la confluencia con el río San Diego, sector valle verde del municipio San Diego, dada la frecuente ocurrencia de eventos que han ocasionado afectaciones en las propiedades y en otros casos de vidas humanas, para la población de la localidad del municipio San Diego en vista de que los niveles desbordados del río llegan a zonas urbanas como también a zonas comerciales y libres donde el sistema de drenaje de aguas fluviales resulta insuficiente ante la demanda.

Adicionalmente es importante que en consonancia con la recaudación de la información hidrológica también es importante que se investiguen los datos de los suelos adyacentes al río Cúpira en base a los asentamientos urbanos de los ciudadanos del municipio San Diego, lo que permitiría elaborar un mapa de riesgo que detalle las zonificaciones de las zonas en amenaza y las delimitaciones de la vulnerabilidad de los suelos en uso. De igual forma la investigación propuso una ventaja, la cual es que fue ser material de apoyo para investigaciones en materia de impacto social, ambiental y económico, lo que permitiría la elaboración de estrategias eficaces a nivel de planificación urbana

1.5 Alcance y Delimitaciones de la Investigación

El presente trabajo de grado se realizó un estudio que pueda revelar datos relevantes sobre el riesgo y la vulnerabilidad del río Cúpira en el municipio San Diego, en el tramo tulipán hasta la confluencia con el río San Diego, sector Valle Verde, centrado en analizar la capacidad para soportar y conducir el agua del río, como el impacto de las intensidades de las lluvias y además el estudio de suelos en las adyacencias del río para determinar su característica y estabilidad de manera que se pueda establecer un rango de riesgo que permita clasificar los construcciones en esta zona del municipio San Diego con un criterio de riesgo en vista de la amenaza del río sobre la población y la propiedad.

Cabe destacar que el trabajo tuvo enfoques en distintos aspectos, entre ellos están:

- Enfoque sociales, ambientales y técnicos de la problemática.
- Basándose en la longitud del trayecto, el levantamiento topográfico fue se realizó mediante el software Google Earth, así como Google Mapper para la creación de las curvas de nivel y la zonificación de la cuenca en vista de la inviabilidad incosteable económicamente y así mismo el corto tiempo para el desarrollo del proyecto.

- Se tomaron estudios de suelos previamente realizados como marco de referencia para el cumplimiento del objetivo en vista de la limitante de un presupuesto inviable y un corto periodo de tiempo de desarrollo para un proyecto de magnitud considerable.
- Adicionalmente no se realizó la evaluación económica de daños en el estudio de vulnerabilidad y riesgo luego de los estudios de inundaciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El presente capítulo abarca lo concerniente a definiciones, conceptos, especificaciones que le dan fundamento a la investigación, con relación a lo que significa un análisis de vulnerabilidad y riesgo de inundación de una cuenca hidrológica, de la cual se tomó un tramo en estudio específico para analizar su comportamiento e influencia de la localidad. Para la comprensión de dicho fenómeno es importante tener en cuenta todas las variables que influyen en el análisis de manera tal que se pueda entender realmente que está siendo comprometido al momento de presentarse un evento como las inundaciones y como se debe tratar, existen diversas fuentes bibliográficas como el estudio “metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos” 2008, entre otros, que se han encargado de investigar lo a análisis de vulnerabilidad y riesgo a inundaciones en cuenta diversos parámetros. Además, en este capítulo, están planteados los antecedentes al presente trabajo de grado, los cuales aportaron gran información relacionada a los estudios que se realizaron. Por consiguiente, se desarrollaron los fundamentos teóricos de los cuales está basada la investigación, cuya información y base de datos fueron tomadas de diferentes autores.

2.1 Antecedentes de la investigación

En la investigación realizada por María Candía Monsiváis (2015) en su trabajo de grado titulado “**Análisis de riesgo por inundación en la zona metropolitana de San Luis Potosí**” realizado en el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, de forma general, trata de demostrar a través de métodos de análisis por mapas las zonas propensas a sufrir daños ocasionados por las inundaciones en

distintos eventos y además cabe destacar que según su criterio de evaluación de riesgo y comparando simultáneamente con los sistemas de información geográfica llego a un resultado cuantitativo en la escala de riesgo donde logro demostrar que las zonas de mayor amenaza en la zona no coincidían con las zonas de mayor vulnerabilidad. De esta investigación se tomó en consideración todos los aspectos generales para esquematizar un análisis de vulnerabilidad y riesgo.

Por otra parte Karen Niño (2012) en su trabajo de grado titulado “**Análisis para la gestión del riesgo de inundaciones en Bogotá: Un enfoque desde la construcción social del riesgo**” realizado en el instituto Pontificia Universidad Javeriana, el trabajo se focaliza de manera determinada el estudio a determinar las características para un análisis de vulnerabilidad donde el ámbito social queda categóricamente como factor principal de evaluación de los eventos naturales y las consecuencias que estos traen a nivel social, las magnitudes que estos alcanzan y dejando en caso las consideraciones institucionales que se pudieran aplicar para minimizar los efectos ocasionados por los eventos. A su vez de este trabajo se tomó en cuenta las condiciones y efectos de las inundaciones que generalizan los parámetros de influencia en la sociedad.

De igual manera en por parte de Orangel de Jesús Noriega (2011) en su trabajo de grado titulado “**Análisis de la vulnerabilidad y el riesgo a inundaciones en la cuenca baja del río Guaira, en el Distrito de Santa Marta**” realizado en la Universidad Popular del Cesar, donde el estudio realizado toma en cuenta un criterio sectorial en el que se comparan los estados entres sectores, según las construcciones realizadas, las dificultades con la planificación urbana el desconocimiento de planes de emergencia y la débil capacitación de la población, son factores que incidieron en la alta vulnerabilidad de la cuenca. Este trabajo sirvió de aporte para la presente investigación como patrón comparativo tomando en

consideración los factores sociales de desconocimiento de planes de emergencia es una característica netamente influyente.

Seguido el mismo orden, la investigación realizada por Claudia Cervantes Jaimés (2010) en su trabajo de grado titulado **“Generación de mapas de riesgo de inundación mediante modelación en 2d”** realizado en la universidad nacional autónoma de México, trabajo en el cual evalúa efectos de arrastre por parte de las aguas influenciadas por efecto de acción de viento, y de cómo califica las zonas de riesgo, toma en consideración eventos fluviales de periodos de retorno de 100 años con una varianza en las intensidades que le permite argumentar sobre criterios que deben tomarse en consideración en la delimitación de zonas para trabajo, construcciones, planificación territorial en general, disponiendo de esta data a las instituciones de protección civil para que elaboren los planes de emergencia pertinentes. De este trabajo destacó el criterio influyente de los coeficientes de escorrentías y adicionalmente la variabilidad de las intensidades de los eventos fluviales.

Por otra parte, la investigación realizada por Manuel Figueira Da Rocha y Tahimy Zuñiga (2012) en su trabajo de grado titulado **“Guía orientadora para los estudios de suelos en el valle de San Diego, ubicado entre el sector Morro I y la urbanización Monte Mayor en el Municipio San Diego, Estado Carabobo”** realizado en la universidad Jose Antonio Páez, trabajo el que mediante estudios de suelos realizados en numerosas excavaciones pudo determinar los perfiles litológicos característicos de distintas zonas en San Diego, De este trabajo se tomo como referencias los perfiles litológicos resultantes debido a su utilidad en la investigación de las características de los suelos.

De igual forma, la investigación realizada por Oswaldo Marvéz y Gabriel Guedez (2017) en su trabajo de grado titulado **“estudio de socavación y análisis de crecidas en puente ubicado en tramo Av. Alameda central – av.**

Sesquicentenario, Municipio Valencia edo. Carabobo” realizado en la universidad Jose Antonio Páez, dicho trabajo se baso en el análisis hidráulico capaz de aportar la cuenta y a su vez estudiar el efecto de socavación que ocurría ante eventos fluviales de periodos de retorno de 50 y 100 años, aunado a este estudio realizar la propuesta de una sección tipo que pudiera sopesar las exigencias a la que se sometía la sección. De este estudio el hecho relevante que se tomó fue el calculo hidráulico mediante el software HEC -RAS para analizar largas secciones de cauce, así como sus efectos de crecidas y manchas de inundación.

Y por último, la investigación realizada por Diego García Arrieche y Claudio Pinto (2017), en su trabajo de grado titulado **“Impacto de la variación del coeficiente de escorrentía sobre los caudales del rio Cúpira en el puente de Valle de Oro ubicado en el municipio San Diego del estado Carabobo”** realizado en la universidad José Antonio Páez, el trabajo se basó en el estudio del coeficiente de escorrentía y el impacto en el caudal comparando la cartografía desactualizada con la que regularmente se trabajaban los análisis hidráulicos y el uso de cartografía actualizada tomando en consideración el crecimiento demográfico y los cambios en las características de los terrenos. De este trabajo se analizó el criterio mediante el cual fue estudiado el coeficiente de escorrentía y su influencia en el incremento del caudal, así como también el método de calculo utilizado para la determinación del caudal en el punto de estudio.

Noticias 24 carabobo, 28/09/2012, Fuerte lluvia en San Diego mantiene a los habitantes en alerta y en “pleno caos” por desbordamiento de río, citando el texto de la noticia: “Desesperados ante el desbordamiento de una de las corrientes del río La Cumaca que atraviesa por la urbanización Valle de Oro en el municipio San Diego, se encuentran los habitantes de esta zona, pues asegura que desde aproximadamente las 10:00 de la mañana de este viernes los accesos hacia el lugar están inundados.

Perdomo comentó que funcionarios del Cuerpo de Bomberos de San Diego le informaron a la colectividad que, el desbordamiento se produjo presuntamente por los escombros de una construcción cercana al caudal. Por su parte, José Alexander Gómez, habitante del sector, manifestó que por suerte el agua no llegó a entrar a ninguna vivienda del sector, sin embargo, la zona que resultó más afectada fue el Conjunto Residencial Las Aldabas, donde sólo se llegaban los vehículos rústicos. Por tal motivo, hizo un llamado al alcalde del municipio San Diego, Enzo Scarano y al Gobernador del estado Carabobo, Henrique Fernando Salas Römer, para que se aboquen a solventar esta situación que afecta a los habitantes del sector”. (Ver Figura 1).



Figura 1: Inundación sector Valle de Oro 28/09/2012

Fuente: Noticias 24 Carabobo

Noticias 24 carabobo, 08/09/2016, Fuertes lluvias causaron inundaciones en varias zonas de Carabobo, citando el texto de la noticia: “En el municipio San Diego, las precipitaciones provocaron inundaciones en la Urbanización Las Trinitarias, en la cual al menos 30 viviendas terminaron afectadas con pérdida de enseres, áreas verdes y recreativas.

En el sector Macomaco lucieron las vías anegadas, así como tres hogares. Asimismo, en el sector las Majaguas perteneciente también a la localidad, 24 viviendas aproximadamente fueron perjudicadas, así como diversas calles del sector, debido a la obstrucción de un puente por desechos sólidos. Personal del Sistema Integrado de Emergencia, fue desplegado por toda la zona para atender cada una de las afectaciones.” (ver figura 2).



Figura 2: Inundaciones 08/09/2016

Fuente: Noticias 24 Carabobo

Eventos pasados guardados en la Data de FUNVISIS

- **(01/10/2007):** “Las fuertes lluvias que se registraron durante más de dos horas de la tarde causaron anegaciones y colapso en calles y avenidas de la población de San Diego, en el municipio homónimo del estado Carabobo. La avenida Don Julio Centeno se inundó. El tránsito vehicular quedó interrumpido por dichas vías. No se registraron afectaciones a viviendas ni personas damnificadas”.

- **(26/10/2013):** “El puente que comunica a los sectores La Cumaca y La Josefina del municipio San Diego del estado Carabobo, se desplomó por el socavamiento de sus bases tras las fuertes precipitaciones registradas. Las lluvias causaron la crecida del río La Cumaca y la fuerte corriente del agua socavó las bases de la estructura derrumbándola por el extremo sur. Con la caída de esta estructura quedaron incomunicadas las comunidades de La Cumaca y La Josefina, además de afectar a docentes y estudiantes de la Universidad Arturo Michelena (UAM), por ser ésta la vía que utilizan para llegar hasta esta casa de estudios. Al sitio acudieron comisiones de la Policía de Carabobo, de la Policía Municipal de San Diego, del Instituto de Protección Civil y del Cuerpo de Bomberos de San Diego. Funcionarios del Instituto de Protección Civil colocaron cintas de acordonamiento para indicar el lugar como zona de peligro para conductores y transeúntes. Afortunadamente no se reportaron víctimas”.
- **(04/08/2015):** “Debido a las fuertes lluvias, acompañadas de fuertes vientos, registrados en varios municipios del estado Carabobo hubo afectaciones en calles y viviendas. Unas diez (10) viviendas ubicadas en el sector Valle Fresco Norte de San Diego, en el municipio San Diego, se inundaron. Al menos unas diez (10) familias resultaron afectadas debido a la condición en la que quedaron las viviendas; es decir, unas cuarenta y cinco (45) personas. También se reportó la caída de varios árboles. El evento fue atendido por funcionarios del Cuerpo de Bomberos”.

Notitarde, 11/10/2016, urge hacer limpieza en cauce de río Cúpira en San Diego. Citando el texto de la noticia: “Debido las fuertes lluvias que han azotado la entidad carabobeña por estos días, los habitantes de la urbanización Chalet’s Country, en el municipio San Diego, manifestaron sentirse preocupados ante el posible desborde del río Cúpira y como consecuencia, la anegación de sus

viviendas. El urbanismo está conformado por unas 160 familias entre casas y edificios, mientras que los habitantes de otras urbanizaciones como Sansur, Valle de Oro y las viviendas construidas en terrenos cercanos a éstas, también podrían ser afectadas. (Ver Figura 3).



Figura 3: Puente sector Bomba Mobil (11/10/2016)

Fuente: Notitarde

Noticias al Dia, 01/12/2016. Fuertes lluvias causan inundaciones en San Diego, Carabobo. Citando el texto: “Tras las fuertes lluvias registradas la madrugada de este jueves se generaron inundaciones en el municipio San Diego. Vecinos compartieron a través de la red social Twitter imágenes alarmantes que muestra como el agua cubrió sus casas y autos a una altura de un metro aproximadamente. La alcaldía de San Diego explicó que la acumulación de sedimentos en el puente de Los Guayos a la altura de la ARC es causante de los altos niveles de agua en la entidad. En este sentido, las autoridades hacen un llamado para abstenerse de transitar por la avenida Don Julio Centeno y el Distribuidor de Divenca para permitir el tránsito libre a las unidades de emergencia. Las clases fueron suspendidas en el municipio. Informaron que bomberos de la

entidad se encuentran atendiendo las emergencias, recomiendan a los vecinos mantenerse en sus casas”.

2.2 Bases teóricas

Una cuenca hidrológica es la zona de la superficie terrestre en la cual, todas las gotas de agua procedentes de una precipitación que caen sobre ella se van a dirigir hacia el mismo punto de salida, dicho punto que generalmente es el de menor cota o altitud de la cuenca. (Mane Salinas Rodríguez, 2012). Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones; también conocido como "parteaguas" (Su contorno o perímetro se encuentra limitado por el lomo o filo de las montañas, denominado parteaguas). El parteaguas, teóricamente, es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes, pero de exposición opuesta; desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja. Al interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior. Las divisorias que delimitan las subcuencas se conocen como parteaguas secundarios.

El área de escurrimiento es el espacio de recarga de agua lluvia superficial o subterránea hacia un punto determinado. Puede ser un manantial, una quebrada o un río muy grande. Las cabeceras de las cuencas son los sitios altos que se encuentran en el parteaguas de las montañas, pero el sitio más alto de todos es la cabecera principal de cuenca.

2.2.1 Hidrografía en Venezuela

Venezuela es drenada por más de 124 ríos importantes, los cuales poseen cuencas mayores de 1.000 Km. El Orinoco cuyo curso de 2.200 Km, drena una cuenca de 6.300.000 Km², o sea, casi el 70% del territorio nacional. Pero hay otros ríos de gran magnitud en Venezuela, como el Apure, que se integra como tributario

al Orinoco y cuyo curso, unido al del Arauca, suma 1.750 Km mientras drenan ambos una cuenca de 125.000 Km².

Se debe tomar en cuenta que los ríos en Venezuela, todos sus datos de cauce, cantidad de litros que conducen están registrados en los organismos competentes del estado pero que a su vez estos requieren de continuas actualizaciones, si están en condiciones libres y optimas o si por otros motivos estos se no se encuentran en su estado natural y su flujo se ve obstruidos por desechos sean naturales o humanos, estos pueden afectar considerablemente su curso e incrementar las probabilidades de que eventos como inundaciones o desbordes tengan un mayor índice de ocurrencia.

2.2.2 Cuenca Hidrológica

La cuenca hidrológica es un concepto que involucra al territorio y a la dinámica del agua en éste, es decir, es un concepto geográfico e hidrológico y se define como el área de la superficie terrestre por donde el agua de lluvia escurre y transita o drena, a través de una red de corrientes, que fluyen hacia una corriente principal y por ésta, hacia un punto común de salida o almacenamiento.

Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones; también conocido como "parteaguas" (Su contorno o perímetro se encuentra limitado por el lomo o filo de las montañas, denominado parteaguas). El parteaguas, teóricamente, es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes, pero de exposición opuesta; desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja. Al interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior. Las divisorias que delimitan las subcuencas se conocen como parteaguas secundarios.

2.2.3 Área de la Cuenca

El área de la cuenca es, de seguro, el parámetro más importante para la determinación de sus parámetros hidrológicos, pues existe una relación directa entre la magnitud del área y la magnitud de los volúmenes generados (caudales) por la precipitación en ella. Métodos como el Racional, ampliamente utilizado en la estimación del Caudal de Escorrentía Superficial generado por una Cuenca Hidrográfica, mantienen una relación directamente proporcional entre el área de la cuenca y el caudal que una precipitación determinada genera sobre ella.

2.2.4 Perímetro, Cauce principal y Longitud

El Perímetro (P) se corresponde con la longitud del polígono que define los límites de la cuenca y depende de la superficie y forma de ésta.

Antes de definir la propiedad Longitud es importante aquí destacar que se define como Cauce Principal de la Cuenca Hidrográfica a aquél que pasa por el punto de salida de la misma y el cual recibe el aporte de otros cauces, de menor envergadura y que son denominados tributarios. (Tutoriales al Día, Ing. Civil, 2017). (ver Figura 4)



Figura 4: Tributarios, y cauce principal de una cuenca hidrográfica

Fuente: Tutoriales al día, Ing. Civil, 2017

2.2.5 Consideraciones Generales de los Ríos

El término río es una palabra que procede de la voz del latín *rius*. Por definición, un río es una corriente natural formada por agua dulce que fluye

continuamente. Puede desembocar o morir en un lago, en el mar o en otro río. En este último caso recibe el nombre de afluente y el punto de unión de ambos se llama confluencia.

Cabe destacar que el caso en estudio se trata de un fractal o tramo del río Cúpira cuyo análisis es realizado hasta un punto en específico donde ocurren la confluencia con el segundo río que forma parte del municipio San Diego que es el Río San Diego, seguido de este punto de confluencia el río cambia de identidad y pasa a ser el río Los Guayos.

Para comprender desde un punto de vista esquemático hay que tomar en consideración todas las partes de un río. (Curiosfera, 2016). (Ver Figura 5)

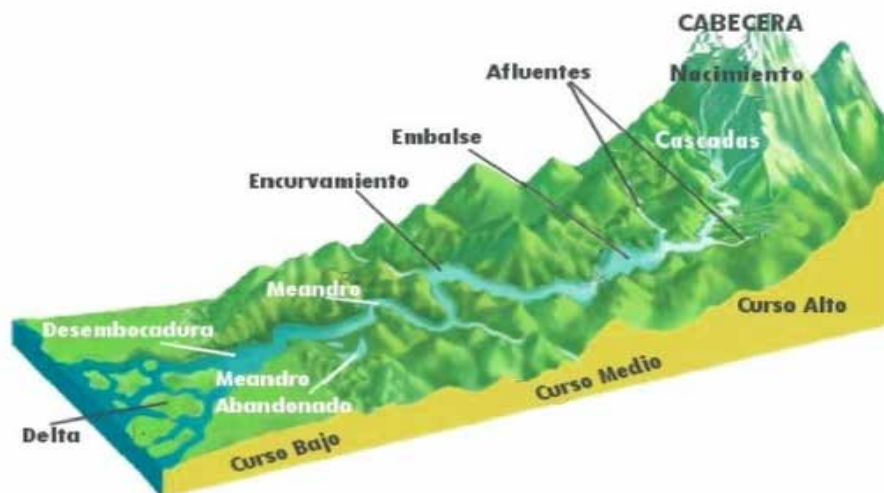


Figura 5: Partes de un Río

Fuente: Curiosfera, Alberto Galindo, 2016

Desde su nacimiento hasta la desembocadura, un río pasa por distintas etapas o partes diferentes. Cada río, en función de su naturaleza y geografía es distinto, pero normalmente suelen tener en común las siguientes partes:

- **Curso Alto:**

El curso alto de un río o de gravedad alta es aquella parte más montañosa o escarpada. Es la zona donde las pendientes suelen ser más pronunciadas e inclinadas. Aquí se encuentra el nacimiento y la cabecera del río. En esta parte del río el agua suele bajar con cierta velocidad, con alta capacidad de erosión del terreno, y puede arrastrar pequeñas piedras y rocas. Por tanto, al principio, donde el terreno tiene mucha pendiente, el río corre velozmente arrancando del fondo y de los lados tierras y piedras. En esta área de algunos ríos se puede formar los rápidos. Que es donde el agua circula por una pendiente algo mayor de lo habitual, aumentando su turbulencia y velocidad de forma considerable. También se pueden encontrar saltos de agua, cataratas o cascadas.

- **Curso Medio:**

El curso medio de un río o de gravedad inestable es la zona de llanura por la que discurre. Las aguas bajan más calmadas y con una velocidad menor que en el curso alto. En esta parte del río, se arrastran los materiales que han sido erosionados. Aquí se pueden formar meandros y encurvamientos para esquivar o rodear los grandes obstáculos que encuentra a su paso.

Esta zona también es donde se le pueden unir otros ríos, que como ya hemos dicho antes, se les llama afluentes. Aunque también puede haber en el curso alto, pero son más pequeños. Normalmente, al principio del curso medio de un río se suelen construir embalses, presas o centrales hidroeléctricas. Aunque esto depende mucho de cada caso en particular.

- **Curso Bajo:**

El curso bajo de un río es la parte final, cuando desemboca o muere en el mar, En este punto el cauce del río se ensancha y el agua fluye a poca velocidad. En esta zona, al circular el agua dulce muy lentamente, se van sedimentando o se depositan todos los materiales que ha ido arrastrando desde el curso alto. En función de la

geografía y de la cantidad de sedimentos se pueden llegar a formar en la desembocadura islas sedimentarias o deltas o también general un cierto tipo de lagunas.

2.2.6 Caudal de un Río

El caudal de un río es la cantidad de agua que transporta en un punto y tiempo determinado. Normalmente se expresa en litros o metros cúbicos por segundo. Dicho caudal puede variar en función de la cantidad de lluvia caída. Si llueve mucho, el río rebosa de agua, y si llueve poco, se empobrece y entra en la llamada época escasa. Finalmente, si no llueve en absoluto durante bastante tiempo, el río puede incluso secarse. Pero hay, naturalmente, otros motivos importantes: hemos visto que existen manantiales subterráneos que pueden continuar proveyendo de agua al río hasta cuando no llueve.

Pero del mismo modo, también están las nieves y los glaciares, que al deshacerse suministran agua al río desde la primavera al otoño. La vida de los ríos, por otra parte, depende de su posición geográfica y del clima de las regiones que recorren. El cauce por el que el río avanza se llama lecho, que posee mayor o menor amplitud según la masa de agua que lo surca. Cuenta cada río, pues, con un lecho mínimo y un lecho máximo. El primero corresponde al caudal de estiaje, y el segundo, al de crecida.

2.2.7 Precipitación

La precipitación es la caída de agua desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. La precipitación forma parte del ciclo del agua que mantiene el equilibrio y sustento de todos los ecosistemas.

La precipitación se genera por la condensación de agua, o sea, la acumulación de agua en la atmósfera creando nubes. El agua que se acumula en la atmósfera generalmente se encuentra en estado gaseoso.

Esta precipitación generalmente cae en estado líquido, aunque también puede suceder en estado gaseoso, como ocurre cuando hay neblina, o en estado sólido, como sucede cuando precipita granizo. Depende directamente de tres factores: de la humedad atmosférica, de las temperaturas y de la presión atmosférica.

2.2.8 Medición de la precipitación

Se mide por la altura que alcanza la lámina de agua resultante. Dicha medición se efectúa mediante pluviómetros entre los que se pueden mencionar: el de cántaro, que recoge el agua sobre él y solamente proporciona volumen de la precipitación ocurrida entre dos mediciones: el de cubeta basculante, el cual el peso de una pequeña cantidad de agua hace bascular una cubeta que activa un mecanismo y marca el hecho mediante una aguja quedando registrado en un cilindro con papel el volumen y el tiempo y, por último, otros métodos, incluidos los basados en instrumentos como radares. Multiplicando la altura de la precipitación por el área de la cuenca se obtendrá el volumen de la lluvia.

2.2.9 Intensidad de la precipitación

Se llama intensidad de la precipitación al volumen de agua que se precipita en una unidad de tiempo. Se expresa generalmente como mm/hora, pulg/hora y litros/segundos/hectárea, según sea la utilización que se vaya a hacer en ella. La intensidad varía con el tiempo y con el tamaño de la hoya sobre la que cae la lluvia.

2.2.10 Duración de la lluvia

Es el tiempo transcurrido entre el comienzo y el final de la lluvia. Este final puede corresponder al tiempo total o al momento hasta el cual la lluvia es significativa para los efectos prácticos.

2.2.11 Frecuencia

Se llama frecuencia al número de veces que un evento es igualado o excedido en un intervalo de tiempo determinado o, lo que es lo mismo, la probabilidad de que ocurra ese evento en un periodo de tiempo dado. Se llama intervalo de

recurrencia al inverso de la frecuencia, esto es, el máximo tiempo que transcurre entre dos eventos que igualan o sobrepasan un valor dado.

2.2.12 Tipos de lluvias

Según su origen

- **Lluvias convectivas:** También denominada como lluvias por corrientes ascendentes de aire cálido. Este tipo de lluvia se origina cuando una zona de la tierra se llega a calentar mucho más que en otra, llegando a transmitirse el calor a la masa de aire que está por encima, la cual poco a poco se eleva como si se tratara de una burbuja, y luego al bajar se enfría. En presencia de humedad se crea una nube, se da inicio a la condensación y de allí comienza la lluvia. Este tipo de lluvia es muy común en zonas húmedas y cálidas; y en lugares templados durante los veranos secos.
- **Lluvias ciclónicas:** Se le suele conocer como lluvias frontales. Este tipo de lluvia se suele dar en latitudes medias y altas, donde una masa de aire frío se mantiene, por ser más densa, por debajo de una masa de aire más cálidas, pero estas nunca se llegan a mezclar. Ahora bien, cuando la masa caliente llega a topar a la masa de aire fría rápidamente asciende y al mismo tiempo se condensa, creando así nubes y luego aparecen las lluvias. Estas lluvias se producen específicamente en el área donde ambas masas de aire hicieron el contacto.
- **Lluvias de relieve:** Llamadas también lluvias orográficas. Ocurren cuando tropiezan los vientos húmedos del mar con un relieve alto o con una montaña, donde rápidamente suben para mantener la barrera orográfica, donde a medida en que se levanta esa masa de aire se va condensando, dando a lugar a nubes cargadas de agua, y de allí se da inicio a la lluvia. En ocasiones cuando sube o va descendiendo y no llega a chocar con una fuente humedad, se considera el aire como seco, por lo tanto, la lluvia no se desencadena. Es

por esta última razón que se originan las sombras pluviométricas y los desiertos orográficos.

Según la intensidad

- **Torrenciales:** Son lluvias que tienen una intensidad superior a los 60 mm/h.
- **Lluvias muy fuertes:** Describe a las lluvias que tienen una cantidad de precipitación entre los 30 y los 60 milímetros por hora.
- **Lluvias fuertes:** En este tipo de lluvia la cantidad de precipitación por hora es entre los 15 y 30 mm.
- **Lluvias moderadas:** Son lluvias que en cantidad de precipitación por hora se mantienen entre los 2 y los 15 mm.
- **Lluvias débiles:** Se trata de lluvias que precipitan a una cantidad menor de los 2 milímetros por hora.

Según su Precipitación

- **Llovizna:** Se trata de lluvias tan débiles que el viento la pulveriza.
- **Chubasco:** Tipo de lluvia con una precipitación entre fuerte y moderada, la cual dura muy poco. Suele estar acompañada de vientos fuertes.
- **Lluvia pasajera:** En este tipo de lluvia la precipitación es muy intensa y dura muy poco tiempo. En cantidad es mucha el agua precipitada frente al tiempo que dura la lluvia.
- **Monzón:** Al igual que la lluvia pasajera, su precipitación es muy intensa y viene acompañado de vientos fuertes, pero la diferencia estriba en que la precipitación dura mucho tiempo. Este tipo de lluvia suele suceder en países cálidos y húmedos.
- **Tromba:** También se le conoce como manga de agua. Esta suele suceder raramente, donde la precipitación es muy débil y viene acompañada de vientos muy fuertes, donde usualmente toman la forma de un remolino.

2.2.13 Evaporación

La evaporación es un proceso físico por el cual determinadas moléculas de agua aumentan su nivel de agitación por aumento de temperatura, y si están próximas a la superficie libre, escapan a la atmósfera. Inversamente otras moléculas de agua existentes en la atmósfera, al perder energía y estar próximas a la superficie libre pueden penetrar en la masa de agua.

La evaporación depende de la insolación, del viento, de la temperatura y del grado de humedad de la atmósfera. Por todo esto la evaporación contemplada en un período corto de tiempo es muy variable, no así cuando el ciclo a considerar es un año, en el cual la insolación total es bastante constante.

2.2.14 Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. La tasa de infiltración, en la ciencia del suelo, es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación. Se mide en pulgadas por hora o milímetros por hora. Las disminuciones de tasa hacen que el suelo se sature. Si la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración, se producirá escorrentía a menos que haya alguna barrera física. Está relacionada con la conductividad hidráulica saturada del suelo cercano a la superficie.

2.2.15 Escurrimientos superficiales

Es la porción de la precipitación que fluye hacia los arroyos, canales, ríos, lagos u océanos como corriente superficial. De dicha definición se concluye que, el escurrimiento superficial es solo una parte de la precipitación, ya que el resto puede ser interceptado por la vegetación, puede ser almacenada, infiltrarse o ser retenida por el suelo, o bien puede evaporarse.

Para estimar los escurrimientos superficiales, es necesario considerar la porción de la precipitación que es interceptada en sus diferentes formas y posteriormente estimar la cantidad de lluvia que forma el escurrimiento.

Para calcular el volumen de agua que puede almacenarse, basta con conocer el escurrimiento medio de la cuenca y el área de la misma, sin embargo, para la mayoría de las obras de conservación, es necesario determinar los escurrimientos máximos. Estos pueden dividirse en dos grupos, los asociados a:

- Precipitación.
- Cuenca o área de drenaje.

Estos consideran la precipitación media, distribución de la lluvia en el área de drenaje, la intensidad, duración y frecuencia de la lluvia.

2.2.16 Precipitación media

Este valor se emplea para calcular el volumen de agua que puede almacenarse y para resolver algunos problemas especiales de conservación del suelo.

2.2.17 Probabilidad de lluvia

Algunas veces en los sistemas de conservación, es necesario realizar obras de almacenamiento, para este propósito, se requiere conocer con cierto grado de certeza el volumen de la precipitación para el próximo ciclo de lluvias y así planear el uso de este recurso 3calendarios de riego. Para lograr lo anterior, se podría considerar en primera instancia la precipitación media del área, lo cual tendría cierto grado de aproximación, pero si se requiere una mayor precisión, es necesario calcular la probabilidad de lluvia, tomando como referencia las características de la precipitación de varios años.

2.2.18 Probabilidad de la lluvia esperada

Se consideran los valores de lluvia de una estación meteorológica obtenidos en varios años de registro. Estos se ordenan de mayor a menos y se establece la probabilidad de ocurrencia, de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$P = (m / n + 1) * 100$$

Donde:

P = Probabilidad de ocurrencia, %

m = número de orden,

n = número total de observaciones

2.2.19 Caudal

El caudal de un río es la cantidad de agua que atraviesa un determinado punto en un intervalo de tiempo (m^3/s). El caudal es directamente proporcional a la velocidad de la corriente y a la sección del cauce. En las partes bajas el caudal es mucho mayor por la gran cantidad de afluentes que aportan agua al río principal.

Lógicamente en época de lluvias el caudal aumenta, sin embargo, existe un desfase entre el máximo de lluvias y el máximo caudal, debido a que en un principio la mayor parte del agua se infiltra en el suelo y sólo cuando éste se satura comienza la escorrentía superficial. Además, hay que tener en cuenta que el subsuelo suministra agua al río. Si esto no sucediera no sería posible la existencia de cursos de agua permanente.

2.2.20 Crecidas de un Río y factores que influyen en el proceso

El concepto de crecida Una avenida o crecida de un río, también llamada popularmente riada, es un proceso natural, sin periodicidad y de grandes consecuencias ambientales, constituido por un incremento importante y repentino de caudal en un sistema fluvial. Lleva consigo un ascenso del nivel de la corriente, que puede desbordar el cauce menor para ocupar progresivamente el cauce mayor, hasta alcanzar un máximo o punta de caudal o caudal-punta y descender a continuación OLLERO (1996). Esta sobreexcitación del comportamiento hidrológico genera consecuencias ambientales muy diferentes a las de los procesos de escorrentía normal, ya que se superan umbrales de resistencia en el sistema fluvial y se aceleran los procesos de erosión, transporte y sedimentación en la evolución ambiental de la cuenca.

Para definir un proceso hidrológico como crecida es imprescindible diferenciarlo respecto de cualquier proceso de aguas altas ordinarias. Los

hidrólogos no se han puesto de acuerdo al respecto, y suelen establecer el umbral en una cifra teórica resultante de multiplicar por 3, por 5, a veces por 10, el caudal medio anual.

Los factores de las crecidas fluviales Se tratan de los mismos factores de la escorrentía normal, actuando con otra intensidad. Podemos distinguir entre unos factores desencadenantes de la avenida y unos factores de intensificación o atenuación de la misma.

Los factores desencadenantes son principalmente fenómenos hidrometeorológicos (OLCINA, 1994):

- Precipitaciones tormentosas breves e intensas, de carácter convectivo, que generan crecidas locales.
- Precipitaciones convectivas de media o gran escala, como las gotas frías frecuentes en otoño que afectan a las cuencas medianas mediterráneas.
- Precipitaciones frontales más extendidas y duraderas, de carácter ciclónico orográfico, que generan crecidas generales, de mucha extensión espacial.

Los factores hidrometeorológicos condicionan una de las características más relevantes de las crecidas, su estacionalidad o época del año en que se registran con más frecuencia en cada lugar, fundamental de cara a la previsión de riesgos.

Hay otras causas de crecida que no tienen carácter hidrometeorológico y que PARDÉ (1961) definió como debacles. Nos referimos fundamentalmente a la liberación brusca de aguas represadas:

- Previa obstrucción natural del cauce por procesos de vertiente: movimientos en masa o conos enfrentados de dos afluentes que cierran el valle principal.
- Por rotura de una presa construida por el hombre, de una infraestructura que ejerce tal papel (puentes ocluidos por desechos de la propia crecida) o de una obra de defensa.

2.2.21 Inundaciones y sus Causas

WHITTOW (1988) define el proceso como la sumersión bajo el agua de una zona terrestre que normalmente no está cubierta por la misma, debido a un cambio relativamente rápido del nivel de la masa de agua en cuestión.

No todas las crecidas producen inundaciones y no todas las inundaciones proceden de crecidas de sistemas fluviales. Mientras las crecidas siempre tienen lugar en sistemas fluviales, aunque su mecanismo y sus efectos no afectan sólo a los cauces, las inundaciones pueden producirse por desbordamiento de un cauce, pero también por elevación del nivel del mar o del nivel freático, dificultades de drenaje, represamientos, etc. En las crecidas fluviales las inundaciones reducen la punta de caudal, ya que expanden el flujo y ralentizan el paso del agua, retardan la descarga, constituyendo por tanto una laminación natural de la crecida.

Las principales causas de inundación son las siguientes: Desbordamiento de un cauce como consecuencia de una crecida. Es lo que se puede denominar inundación fluvial, que será diferente según nos encontremos en un cono de deyección, en un curso alto, en un curso bajo o en una llanura de inundación próxima a la costa en la que la zona inundable adquiere forma irregular afectando a marismas o albuferas (MATEU, 1990).

En Venezuela las cuencas hidrográficas en las que se divide el territorio presentan diversidad de tipos de paisaje que se asocian a los cursos de agua. Las inundaciones en el país se reportan cada año asociadas al periodo de lluvias. La cuenca del Lago de Maracaibo, los tramos inferiores del Sistema Coriano, los Llanos Occidentales y Centrales, los llanos Meridionales, los tramos medios e inferiores de las cuencas nororientales y las vegas y el Delta del Río Orinoco, han presentado inundaciones en el pasado haciendo un extenso historial de eventos en el país.

En el caso de las zonas urbanas, la mayoría de las ciudades venezolanas se encuentran localizadas históricamente en la cercanía de cursos de agua. La expansión física de estas ciudades ha ido gradualmente invadiendo los lechos de inundación creando zonas de riesgos. Aunado a ello, el fuerte grado de intervención y consiguiente modificación de la cuenca como las alteraciones a la topografía original, la impermeabilización producto de la consolidación de vías y viviendas en los cursos de agua y sus adyacencias, ha generado cambios en las condiciones de escorrentía e infiltración, haciendo del escurrimiento superficial fuente de inundaciones repentinas en áreas urbanas.

2.2.22 Tipos de inundaciones

La clasificación primordial por la que se organizan las inundaciones va relacionada con el factor de tiempo en el cual son capaces de ocurrir, en función de ese factor pueden clasificarse en:

- **Inundaciones de lenta aparición:** Pueden tardar días, semanas o meses en cubrir los terrenos. Pueden dañar las cosechas, las carreteras y zonas pequeñas.
- **Inundaciones de rápida aparición:** Se producen en un tiempo más corto y entrañan daños más graves para las construcciones y las personas.
- **Inundaciones repentinas:** Representan la mayor amenaza y pueden provocar cuantiosos daños en la infraestructura, así como consecuencias sociales negativas.

2.2.23 Consecuencias de los Procesos de Crecida e Inundación

Efecto en el medio Natural

Una crecida es mucho más que una punta de descarga fluvial. Se evidencia por tanto un proceso geo-mórfico decisivo en la dinámica de los sistemas fluviales, que afecta tanto a los cauces como a las áreas potencialmente inundables (terrazas fluviales holocenas o históricas, abanicos aluviales funcionales, llanos de

inundación, deltas, bordes de albuferas, depresiones endorreicas, depresiones kársticas).

Ahora bien, una mayor punta de crecida o una mayor descarga por unidad de área no equivale necesariamente a mayor potencia o mayor efectividad geo-mórfica (BAKER y COSTA, 1987), ya que además de la descarga líquida intervienen variables como los caracteres de la cuenca, la velocidad media, la pendiente, el calado medio o la concentración de sedimentos.

Las principales consecuencias en el medio abiótico de los procesos de crecida e inundación son:

- La activación de procesos de vertientes en la cuenca como resultado de las fuertes precipitaciones: socavamientos, piping, deslizamientos, etc.

Hay una aceleración en los cauces de los procesos de erosión, transporte y sedimentación. Predominan los procesos de erosión, tanto en las orillas como en el fondo del lecho, durante el ascenso y punta de las aguas, conforme aumenta la profundidad de la corriente, pero con el descenso, cuando su velocidad y profundidad disminuyen, se depositan los materiales (sedimentación diferencial) con un balance final muy similar a la inicial. El resultado son acumulaciones de gravas, inicios de nuevos cauces, encharcamientos, profundos socavones, corrimientos de tierras, arranque de árboles, elevación de diques naturales de ramas y materiales arrastrados, etc.

Efectos en el medio humano

Las crecidas e inundaciones constituyen fenómenos físicos y socioeconómicos que afectan las actividades humanas y a su vez son modificadas por ellas, de manera que protagonizan una de las relaciones más paradigmáticas del hombre y su entorno natural (MATEU, 1990).

Hay que destacar la existencia de varias consecuencias de estos procesos beneficiosas para el hombre: el incremento de la fertilidad del suelo, la limpieza de

cauces, la renovación de aguas estancadas, la renovación de acuíferos aprovechables o el riego con aguas de avenida en zonas deficitarias.

Sin embargo, las consecuencias son, en su mayor parte, negativas, y pueden estructurarse en tres grandes bloques:

- Daños en infraestructuras, vías de comunicación, sistemas de telecomunicación, viviendas, instalaciones industriales, edificaciones agrícolas, puentes, defensas, presas, azudes, estaciones de aforo, redes de agua potable, conducciones enterradas, aterramiento de embalses, canales y acequias, etc.
- Repercusiones en actividades humanas, paralización de actividad por la inundación (corte de comunicaciones y energía), pérdidas económicas directas e indirectas en el sector privado y en el público, gastos económicos en reparaciones, limpieza general y ayudas de emergencia, incremento del paro y retroceso de la prosperidad general, conflictos de propiedad, efectos psicológicos y sociológicos (percepción individual y colectiva del riesgo), epidemias y problemas de salud pública por expansión de contaminantes, corte del agua potable, falta de abastecimiento, aguas estancadas, etc.
- Pérdida de vidas humanas, tanto directa como indirecta.

A continuación, se puede observar un resumen sobre eventos de inundaciones que han tenido un efecto en la población. (Ver Figura 6).

2.2.24 Peligrosidad, Vulnerabilidad y Percepción del Riesgo en Crecidas e Inundaciones

Sobre el Concepto de Riesgo

No hay riesgo sin presencia humana. MATEU (1992) define riesgo natural como la manifestación de inestabilidad corta o prolongada del sistema natural que quiebra las relaciones habituales de la sociedad con su entorno.

Para ORTEGA (1991) son imprescindibles el proceso natural agente y la sociedad afectada o paciente. TRICART (1992) considera que no están claras las nociones peligro y riesgo, y critica la terminología anglosajona al respecto (Hazard, disaster). Define riesgo como la traducción del peligro en amenaza para el que está sometido a ello, la probabilidad de que un peligro se convierta en daño: el peligro es natural, el riesgo es humano.

El grado de riesgo (PANIZZA, 1988) se obtiene del producto de la peligrosidad natural (condición, proceso o suceso potencial que supone una amenaza para el hombre o su actividad) por la vulnerabilidad territorial (características del grupo humano amenazado) es decir, la probabilidad de ocurrencia de un peligro por el valor del daño que puede causar.

Los principales elementos de peligrosidad de crecidas e inundaciones son definidos por DUNNE y LEOPOLD (1978):

- El origen de la crecida (precipitación intensa, rotura de represamiento...).
- El tipo de curso fluvial en que nos encontremos (gran río, curso de montaña, rambla, curso de recorrido corto...) y el tramo del mismo (curso alto, medio o bajo, tramo encajado o divagante...).
- El volumen de la crecida y especialmente la altura máxima que alcanza el agua.
- La velocidad de propagación, la rapidez de subida de las aguas, que condiciona la posibilidad de alertar y evacuar a tiempo a la población.
- La duración de la inundación, muy importante de cara a los daños económicos por paralización de actividades.
- La época del año en que se produzca el evento, lo cual puede ser relevante para cosechas y determinadas actividades económicas.
- El área inundada o magnitud de la inundación.

Siete mayores eventos catastróficos por inundaciones y deslaves en Venezuela según el número de muertes.

Evento	Muertos	Municipio	Estado	Mes	Año	Afectados	Resumen
1. Tragedia de Vargas	Más de 758	Vargas	Vargas	12	1999	267462	Minimo: 700 Moda: 30.000 Máximo: 50.000
2. Tragedia del río El Limón	350	Girardot	Aragua	9	1987	17000	Minimo: 96 Moda: 350 Máximo: 550
3. Tormenta Bret	84	Libertador	Distrito Capital	8	1993	11219	Minimo: 70 Moda: 84 Máximo: 125
4. Vaguada del 99	77	Libertador	Distrito Capital	12	1999	43837	Minimo: 30 Moda: 50 Máximo: 300
5. Desborde de la represa el Guapo y varios ríos.	53	Páez	Miranda	12	1999	45000	Minimo: 4 Moda: 50 Máximo: 55
6. Desborde del río San Pedro	50	Varios	Mérida	10	1987	3000	Minimo: 20 Moda: 50 Máximo: 60
7. Desborde del río Mocoties	48	Antonio Pinto Salinas	Mérida	2	2005	18000	Minimo: 27 Moda: 47 Máximo: 120

Figura 6: Siete mayores eventos catastróficos por inundaciones y deslaves en Venezuela según el número de muertes.

Fuentes: José Miguel Campos (2011).

Sobre el Concepto de Vulnerabilidad

La vulnerabilidad territorial es la que define fundamentalmente, en último término, el carácter catastrófico de una crecida o inundación. Los elementos vulnerables que contribuyen a incrementar el riesgo son (Ver Figura 7) los usos del suelo y del agua, las infraestructuras, los asentamientos humanos en zonas inundables, contando con el alto grado de antropización en las inmediaciones de los

ríos por obvias ventajas de accesibilidad, fertilidad, navegación, comunicaciones, etc.

2.2.25 Grado de Riesgo en Diferentes Tipos de Crecidas e

Inundaciones

El riesgo se ha incrementado a nivel mundial de modo exponencial en las últimas décadas tanto por los procesos inducidos por las transformaciones humanas de los sistemas naturales (impermeabilización, encauzamientos), como por el aumento de la vulnerabilidad.

Los daños siguen creciendo pese a las inversiones realizadas, aunque han descendido las víctimas mortales (LEDOUX, 1995). Contrariamente a lo que se piensa, es muy probable que la frecuencia de las inundaciones vaya en aumento.

Aparte del cambio climático, cuyas consecuencias no están completamente determinadas, es evidente que el arroyamiento es cada vez mayor por los cambios en las prácticas agrícolas, ciertas obras de defensa que desplazan e incrementan el problema aguas abajo, y la urbanización que disminuye la infiltración y acelera la escorrentía.



Figura 7: Peligrosidad y Vulnerabilidad en Crecidas e Inundaciones

Fuente: Alfredo Ollero Ojeda, 1997.

Los riesgos no pueden ser clasificados por su escala o grado a nivel universal, debido a su complejidad y sobre todo a la enorme variabilidad en los caracteres de los grupos humanos.

A continuación, se presenta un cuadro de zonas por estado y municipios que se encuentran en el plan de priorización de líneas estratégicas y acciones para la gestión de riesgo de desastre en Venezuela (ver Cuadro 1).

2.2.26 Descripción del Método Racional

Origen del Método

La relación entre precipitación ha sido representada por muchas fórmulas empíricas y semi-empíricas. La fórmula racional puede tomarse como una representación de tales formulas. Aunque esta fórmula está basada en un número de suposiciones las cuales se desconocen con facilidad bajo circunstancias actuales, esta simplemente ha ganado popularidad.

Cuadro 1: Tabla de Municipios Prioritarios de Intervención para la Gestión Integral de Riesgo en Venezuela

EVENTO	ZONAS
Inundaciones	Miranda (Municipios Buroz, Páez, Brión, Andrés Bello, Acevedo, Plaza, Zamora), Zulia (Municipios Colón, Catatumbo, Francisco Javier Pulgar, Maracaibo), Distrito Capital (Municipio Libertador), Aragua (Municipios Zamora, Mario Briceño Iragorry, Girardot) Carabobo (Municipios Diego Ibarra, Carlos Arvelo, Los Guayos, San Joaquín).

Fuente: Dr. Jesús Delgado, 2009.

La fórmula ha sido mencionada primero en 1889 por Emil Kuching para una determinación de escurrimiento pico para el diseño de una alcantarilla en Ronchester, Nueva York, durante el periodo de 1877 a 1888.

La recomendación de Kuching ha sido aceptada por la comunidad profesional, y sirve hasta nuestros días como el método líder para el diseño de alcantarillas pluviales, así como para la predicción del gasto máximo de cuencas rurales pequeñas, debido a la simplicidad y a la fácil preparación de la información requerida para su aplicación.

Este método de cálculo ha sido elegido para el desarrollo del presente trabajo de grado al formar parte de los conocimientos impartidos a lo largo de la carrera. La base del método es la ecuación:

$$Q_p = C \cdot I \cdot A$$

Dónde:

Q_p = gasto de diseño (m^3/s)

C = coeficiente de escurrimiento (se conoce también como escorrentía)

I = intensidad de lluvia de diseño (lps/ha)

A = área de la cuenca (ha)

El razonamiento que llevo a establecer la ecuación es el hecho de que, la descarga máxima en una cuenca de poca extensión se dará cuando, la totalidad de la superficie este drenando, esto es, cuando el escurrimiento tanto de la parte baja de la cuenca, como el de la parte media, así como el proveniente de la más lejana, se acumulan simultáneamente en la salida, estableciendo la máxima suma posible de volumen de agua.

Variables involucradas en el método racional

- **Intensidad de diseño (i)**

La intensidad de la lluvia de diseño (i) es la tasa promedio de lluvia en milímetros por hora para una cuenca o subcuenca de drenaje en particular. La

intensidad se selecciona con base en la duración de la lluvia de diseño y el periodo de retorno, de tal manera que:

$$I = \text{Ptr}'/D$$

Dónde:

I = intensidad de la lluvia de diseño (mm/hr)

Ptr' = precipitación de diseño (mm)

D = duración de diseño (hr)

· **Duración de diseño (D)**

La duración de diseño es igual al tiempo de concentración ($D = T_c$), para el área de drenaje en consideración. El periodo de retorno se establece utilizando estándares de diseño o es seleccionado por el hidrólogo como un parámetro de diseño. Se supone que el escurrimiento alcanza su pico en el tiempo de concentración (T_c) cuando toda la cuenca está contribuyendo al flujo en su salida. El tiempo de concentración es el tiempo requerido por una gota de agua para fluir desde el punto más remoto en la cuenca hasta el punto de interés o de diseño.

Para la determinación de la precipitación de diseño frecuentemente se utilizan las curvas precipitación-duración-tiempo de retorno (P-D-Tr), curvas que representan las características de una zona o región para las que son construidas, comúnmente utilizadas como apoyo en el diseño de estructuras hidráulicas en donde son de interés la duración, lamina y frecuencia de la precipitación.

El fundamento más fuerte de esta metodología, según F. C. Bell, es que la magnitud (P) de una lámina de precipitación en el periodo de retorno (T_r) y la duración de la tormenta (t) de la misma, están relacionados con la lluvia de duración de 1 hora y periodo de retorno de 2 años (P_{260}) y propone la relación:

$$P'_{T_r} = [0.35 \ln(T_r) + 0.76] [0.54t^{0.25} - 0.5] P_2^{60}$$

En cuencas urbanas el T_c se define a partir de la expresión:

$$t_c = t_{cs} + t_t$$

Donde:

Tcs: Tiempo de concentración superficial

Tt: Tiempo de traslado a través de colectores

Ahora bien, existen varios métodos para estimar el tiempo de concentración en las superficies naturales (Tcs), sin embargo, el criterio más común en México, es el propuesto por Kirpich (1.4):

$$t_{cs} = 0.0003455 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

Tcs: Tiempo de concentración sobre la superficie natural (hr)

L: Longitud del cauce Principal (m)

S: Pendiente media del cauce principal

El tiempo de traslado a través de los colectores (Tt) se determina con la expresión:

$$t_t = \frac{l}{3600 v}$$

Donde:

Tt: Tiempo de traslado a través de los colectores (hr)

V: longitud del tramo en el cual el flujo escurre (m)

La velocidad media del agua en el colector se calcula con la ecuación de Manning, suponiendo que en colector el flujo es uniforme, (Ver formula en el punto **2.2.30**)

Con relación al cálculo de la pendiente media, se puede utilizar el método de Taylor y Schwartz, a través de la expresión:

$$S = \left(\frac{L}{\frac{L_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{L_m}{\sqrt{S_m}}} \right)^2$$

Donde:

L: Longitud total del cauce principal

S₁, S₂..., S_m: Pendientes de cada tramo

L₁, L₂..., L_m: Longitudes de cada tramo

· **Intensidad de Diseño, Método de Curvas IDF**

Las curvas de Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) se construyen por medio puntos representativos de la intensidad media de precipitación para diferentes duraciones, correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Témez 1978). Mediante las curvas IDF es posible estimar la intensidad de tormentas intensas de distintas duraciones y para diferentes periodos de retorno. La metodología tradicional usada para el cálculo de las curvas IDF consiste básicamente en realizar un análisis de frecuencia a cada una de las series de valores máximos de precipitación obtenidas para cada duración.

La serie a la cual se le realiza el análisis de frecuencias puede ser seleccionada de tres formas, a saber:

- Serie máximas anuales, es aquella serie que está conformada por cada uno de los valores máximos de precipitación observados en cada uno de los años de registro.
- Serie de duraciones parciales, en la cual la serie de datos está conformada por aquellos datos que sobrepasan un valor base predefinido.
- Serie de excedencias anuales, en la cual el valor base, de la serie anterior, es seleccionado de tal forma que el número de datos que conforman la serie sea igual al número de años de registros.

Luego del ordenamiento de la información recabada, se procede a realizar la elaboración de la recta utilizando el papel probabilístico Gumbel tipo I, (ver Figura 8). Con las rectas en el grafico probabilístico de Gumbel se procede a realizar cortes con los ejes verticales de los periodos de retorno (1,2,5,10,15,25,50,100,200 años...), se realiza la lectura en el eje de las ordenadas para obtener la intensidad referida al periodo de retorno, luego con la lectura se procede a realizar las gráficas de las curvas IDF para cada duración de cada periodo de retorno. (ver Figura 9).

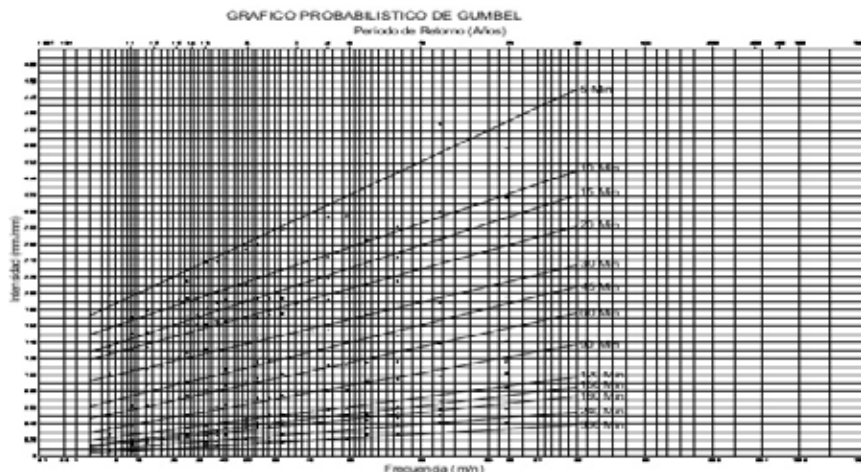


Figura 8: Grafico Probabilístico de Gumbel

Fuente: Juan Daniel Montaña, 2014

- **Coefficiente de escurrimiento (C)**

El coeficiente de escurrimiento (C) es la variable menos precisa del método racional. Su uso en la formula implica una relación fija entre la tasa de escurrimiento fijo y la tasa de lluvia para la cuenca de drenaje lo cual no es cierto en realidad. Una selección apropiada del coeficiente de escurrimiento requiere del conocimiento y de la experiencia por parte del hidrólogo.

La proporción de la lluvia total que alcanzara los drenajes de tormenta depende del porcentaje de permeabilidad, de la pendiente y del almacenamiento por depresión.

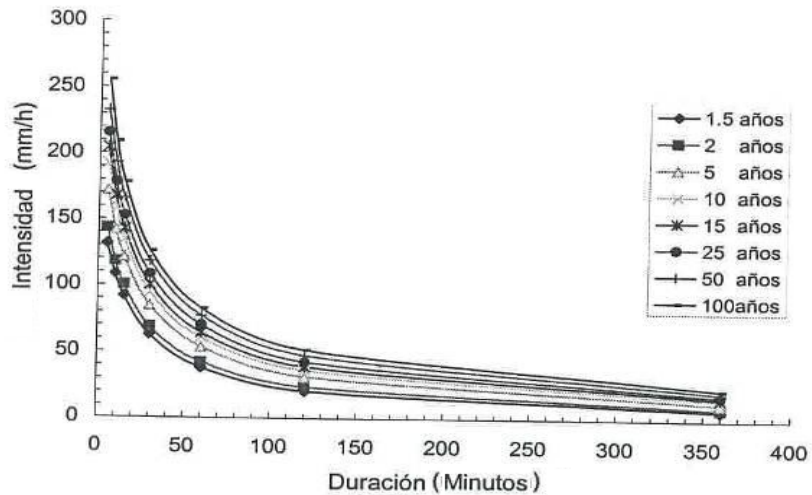


Figura 9: Curvas IDF

Fuente: Corea y asociados S.A. (CORASCO) 2012

2.2.27 Procedimiento para la estimación del coeficiente de escurrimiento (C) en cuencas rurales.

1. Para conocer el valor de C es necesario utilizar una serie de tabulaciones, incluyendo estas los diversos factores que influyen en el coeficiente de escurrimiento. Se estiman tres valores de C, utilizando para el análisis el valor promedio entre ellos.
2. De la tabla, utilizando factores de clasificación (topografía, tipos de suelo y cobertura vegetal), se calcula el primer coeficiente de escurrimiento (C1) de la siguiente manera:

$$C_1 = 1 - (C_{top} + C_{suelo} + C_{cob})$$
3. En la tabla, empleando al mismo tiempo la topografía, tipo de suelo y cobertura, se obtiene el segundo valor de C (C2).
4. En la tabla, empleando el tipo de suelo, el área de la cuenca y la precipitación con duración de 24 horas y un periodo de retorno de 100 años, se estima el tercer valor de C (C3).
5. Por último, se calcula el valor de C (Ver Figura 10,11 y 12)

FACTORES DE CLASIFICACION	VALOR DE C
TOPOGRAFIA	
Terreno plano, con pendiente de 0.15%	0.30
Terreno ondulado, con pendiente de 0.20%	0.20
Terreno accidentado con pendiente de 4 %	0.10
SUELO	
Arcilloso firme	0.10
Arcilloso-arenoso	0.20
Arcilloso-arenoso suelto	0.40
COBERTURA	
Terrenos cultivados	0.10
Bosques	0.20

Figura 10: Tabla de Factores de Clasificación/C

Fuente: Universidad de Salamanca

TOPOGRAFIA	TIPO DE SUELO DEL SCS	VALORES DE C SEGUN LA CUBIERTA VEGETAL	
		CULTIVO	BOSQUE
LLANA	Arcilloso firme impenetrable (D)	0.50	0.40
	Arcillo-arenoso firme (C y B)	0.40	0.30
	Arcillo-arenoso abierto (A)	0.20	0.10
ONDULADA	Arcilloso firme impenetrable (D)	0.60	0.50
	Arcillo-arenoso firme (C y B)	0.50	0.40
	Arcillo-arenoso abierto (A)	0.30	0.20
ACCIDENTADA	Arcilloso firme impenetrable (D)	0.70	0.60
	Arcillo-arenoso firme (C y B)	0.60	0.50
	Arcillo-arenoso abierto (A)	0.40	0.30

Figura 11: Tabla de Valores de C según la cubierta vegetal

Fuente: Universidad de Salamanca

Tipo de suelo (SCS)	P ₁₀₀ ¹⁴⁴⁰ (mm)	C para áreas, en Km ²				
		≤ 0.1	0.1-1	1-10	10-100	> 100
Tipo (D)	≤ 80	0.80	0.70	0.65	0.65	0.60
	81-150	0.90	0.85	0.80	0.80	0.80
	151- 200	0.95	0.90	0.90	0.90	0.90
	> 200	0.95	0.95	0.95	0.90	0.90
Tipo (C)	≤ 80	0.70	0.60	0.55	0.50	0.45
	81-150	0.85	0.80	0.75	0.65	0.65
	151- 200	0.85	0.85	0.80	0.70	0.70
	> 200	0.90	0.90	0.80	0.75	0.75
Tipo (B)	≤ 80	0.55	0.55	0.45	0.35	0.20
	81-150	0.65	0.63	0.56	0.45	0.30
	151- 200	0.75	0.70	0.65	0.55	0.40
	> 200	0.80	0.75	0.70	0.65	0.50
Tipo (A)	≤ 80	0.35	0.28	0.20	0.20	0.15
	81-150	0.45	0.35	0.25	0.25	0.20
	151- 200	0.55	0.45	0.40	0.35	0.30
	> 200	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40

Figura 12: Tabla C para áreas en Km²

Fuente: Universidad de Salamanca

2.2.28 Procedimiento para la estimación del coeficiente de escurrimiento (C) en cuencas urbanas

En el caso de cuencas urbanas es necesario conocer las características de la superficie del proyecto (tipo de suelo y pendiente del terreno) y el periodo de retorno para la obra en particular. (Ver Figura 13).

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Figura 13: Tabla de Características de la Superficie

Fuente: Universidad de Salamanca

2.2.29 Limitaciones del Método Racional según autores

Entre las limitaciones destacadas por algunos autores acerca del Método Racional se pueden referir:

- Proporciona solamente un caudal pico, no el hidrograma de creciente para el diseño.

- Supone que la lluvia es uniforme en el tiempo (intensidad constante) lo cual es sólo cierto cuando la duración de la lluvia es muy corta.
- El Método Racional también supone que la lluvia es uniforme en toda el área de la cuenca en estudio, lo cual es parcialmente válido si la extensión de ésta es muy pequeña.
- Asume que la escorrentía es directamente proporcional a la precipitación (si duplica la precipitación, la escorrentía se duplica también). En la realidad, esto no es cierto, pues la escorrentía depende también de muchos otros factores, tales como precipitaciones antecedentes, condiciones de humedad antecedente del suelo, etc.
- Ignora los efectos de almacenamiento o retención temporal del agua escurrida en la superficie, cauces, conductos y otros elementos (naturales y artificiales).
- Asume que el período de retorno de la precipitación y el de la escorrentía son los mismos, lo que sería cierto en áreas impermeables, en donde las condiciones de humedad antecedente del suelo no influyen de forma significativa en la Escorrentía Superficial.

Pese a estas limitaciones, el Método Racional se usa prácticamente en todos los proyectos de drenaje vial, urbano o agrícola, siempre teniendo en cuenta que producirá resultados aceptables en áreas pequeñas y con alto porcentaje de impermeabilidad, por ello es recomendable que su uso se limite a Cuencas con extensiones inferiores a las 200 Ha.

2.2.30 Cálculo aproximado de la altura de inundación, Método de Chezy y Manning

Después de calcular el caudal de diseño para un periodo de retorno especificado, la última fase del trabajo consiste en calcular las áreas que resultarían inundadas con dicho caudal. Para un caudal determinado, esto dependerá fundamentalmente de la geometría del cauce.

El paso más complejo es el primero: calcular la velocidad a partir del caudal. Depende de la geometría del cauce o canal, del tipo de superficie del mismo y de la pendiente. La geometría de la sección queda reflejada en el radio hidráulico.

- **Radio Hidráulico**

El radio hidráulico (R) es la relación entre la sección y el perímetro mojado (el perímetro mojado aparece en trazos rojos) (Ver Figura 14).

Figura 14: Radio Hidráulico

Autor: F. Javier Sánchez San Román.

En un cauce natural (izquierda) presentará diversos valores, mientras que en un canal semicircular (dibujo derecha), el cálculo de sección/perímetro mojado se puede hacer fácilmente ((

Para canales rectangulares de poca profundidad (anchura/profundidad >20) el radio hidráulico es aproximadamente la profundidad media del cauce o canal. Cálculo de la velocidad en un canal: Fórmulas de Chezy y Manning La fórmula de Chezy calcula la velocidad del agua en una sección de un cauce o canal. Fue desarrollada por el ingeniero francés Antoine de Chezy, y establece que:

$$v = C\sqrt{R * S}$$

Dónde:

v = velocidad media del agua (m/s).

R = radio hidráulico (m).

S = pendiente de la línea de agua (m/m).

C = coeficiente de Chezy.

En la fórmula de Chezy aparece un coeficiente C que se ha calculado con diversas ecuaciones. Según qué fórmula se utilice para la evaluación de C, así se denomina la expresión de Chezy. La más usual es la fórmula de Manning. En ella el coeficiente C se calcula así:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

Dónde:

C = coeficiente de Manning para aplicar en la fórmula de Chezy.

n = parámetro de rugosidad de Manning (Ver Figura 16).

R = radio hidráulico, en m.

Valores del coeficiente *n* de rugosidad de Manning

a) Canales sin vegetación	
Sección transversal uniforme, alineación regular sin guijarros ni vegetación, en suelos sedimentarios finos	0,016
Sección transversal uniforme, alineación regular, sin guijarros ni vegetación, con suelos de arcilla duros u horizontes endurecidos	0,018
Sección transversal uniforme, alineación regular, con pocos guijarros, escasa vegetación, en tierra franca arcillosa	0,020
Pequeñas variaciones en la sección transversal, alineación bastante regular, pocas piedras, hierba fina en las orillas, en suelos arenosos y arcillosos, y también en canales recién limpiados y rastrillados	0,0225
Alineación irregular, con ondulaciones en el fondo, en suelo de grava o esquistos arcillosos, con orillas irregulares o vegetación	0,025
Sección transversal y alineación irregulares, rocas dispersas y grava suelta en el fondo, o con considerable vegetación en los márgenes inclinados, o en un material de grava de hasta 150 mm de diámetro	0,030
Canales irregulares erosionados, o canales abiertos en la roca	0,030
(b) Canales con vegetación	
Gramíneas cortas (50-150 mm)	0,030-0,060
Gramíneas medias (150-250 mm)	0,030-0,085
Gramíneas largas (250-600 mm)	0,040-0,150
(c) Canales de corriente natural	
Limpios y rectos	0,025-0,030
Sinuosos, con embalses y bajos	0,033-0,040
Con muchas hierbas altas, sinuosos	0,075-0,150

Figura 16: Tabla de Valores del coeficiente *n* de rugosidad de Manning

Fuente: Universidad de Salamanca

Sustituyendo el valor de la *C* según Manning (2) en la fórmula original de Chezy (1), resulta la denominada fórmula de Manning 2:

$$v(m / seg) = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S}$$

n = parámetro de rugosidad de Manning.

R= radio hidráulico.

S = pendiente (m/m).

· **Evaluación de la altura**

Para evaluar la altura que alcanzará el agua, utilizamos la expresión:

$$\text{Caudal} = \text{Área} * \text{velocidad}$$

En la que aplicando la fórmula (3) de Manning, resulta:

- - -

Despejando la sección:



Finalmente, conociendo la sección, debemos evaluar la altura del agua (profundidad), dependiendo de la forma del cauce. A veces se supone la sección rectangular, calculando la altura del agua a partir de: Sección = anchura media * altura media (Ver Figura 17)

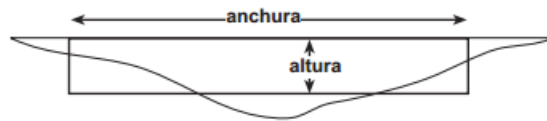


Figura 17: Sección Transversal del cauce

Autor: F. Javier Sánchez San Román.

A continuación, se presenta un resumen de los elementos geométricos de secciones de canal más comunes que se pueden encontrar. (Ver figura 18)

Tipo de sección	Area A (m ²)	Perimetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$\frac{(\text{sen}\frac{\theta}{2})D}{2\sqrt{y(D-y)}}$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Figura 18: Secciones geométricas más utilizadas en canales

Fuente: Pedro Rodríguez Ruiz, Hidráulica II 2012

2.2.31 Método Clark o Hidrograma Unitario

Bases del Método Clark

El hidrograma total de una cuenca generado por una lluvia de características determinadas es el resultado de la suma de los hidrogramas de las subcuencas que la constituyen, debidamente desfasados y amortiguados por el efecto de almacenamiento. Lo expuesto indica que un hidrograma depende de la lluvia efectiva tendrá que ser consideradas en su distribución en el espacio y en el tiempo.

La lluvia efectiva es la lluvia total caída menos las pérdidas por infiltración, intercepción, transpiración, retención superficial y evaporación. Los pasos a seguir para la aplicación del método son los siguientes:

- **Determinación del diagrama área - tiempo:** este diagrama muestra como las diferentes áreas que constituyen la cuenca contribuyen en secuencia a la formación del escurrimiento. Para delimitar estas áreas:

Se estima el tiempo de concentración de la cuenca.

Se divide la cuenca en subáreas mediante el trazado de curvas isócronas. El número de sub áreas será igual o mayor de 5.

El intervalo de separación entre isocronas se constante y se denomina T_u .

Se miden las áreas entre isócronas y se dibuja el diagrama área - tiempo. Ver Figura 19

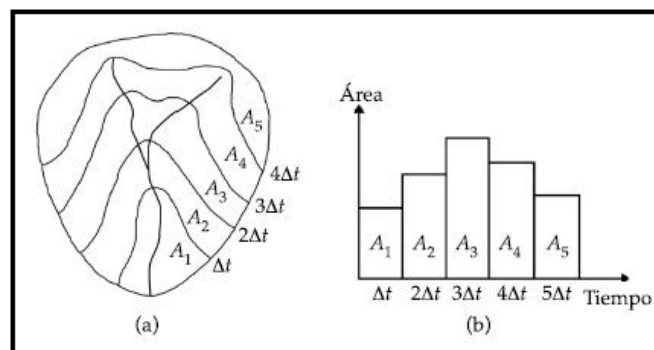


Figura 19: Diagrama de Área – Tiempo

Fuente: Saghafian, 2002

- **Selección del diagrama de lluvias:** Para el valor de T_r (periodo de retorno) seleccionado, se obtiene de las curvas idf las intensidades correspondientes a las distintas duraciones: $T_u, 2T_u, 3T_u \dots nT_u$.

La duración total debe ser al menos igual al tiempo de concentración de la cuenca.

Se multiplica cada valor de la intensidad por la correspondiente duración para obtener la precipitación total en la subárea, luego de obtener el valor de la precipitación, se multiplica por dos factores, un factor de pérdida que toma en consideración las características de los suelos y la vegetación basado en numerosos estudios de cuencas que arrojan valores similares, y el segundo factor corresponde a las características de las tormentas tropicales, la relación entre lluvia puntual y lluvia sobre área, una vez multiplicada la precipitación por los dos factores, se obtiene entonces la precipitación efectiva en el subárea.

Donde:

P = Precipitación, en mm.

I = Intensidad, en Lps/Ha.

D = Duración, en minutos.

Luego para finalizar:

$$\mathbf{P * F_p * F_{II}}$$

Donde:

P_e = Precipitación efectiva, en mm.

F_p = Factor de pérdidas por características del suelo.

F_{II} = factor de características de lluvia.

Estas lluvias totales se arreglan en una secuencia tal, que produzcan la máxima intensidad. El arreglo que casi con toda seguridad producirá dicho resultado se logra al hacer consecutivas los tres intervalos de mayor lluvia.

- **Determinación del diagrama de lluvia efectiva:** la complejidad de este método radica en la estimación de las pérdidas que se generan en la cuenca, tomando en cuenta que la infiltración es el componente más significativo del volumen de perdidas, una forma de determinarla podría ser a través del modelo de Horton.

En la práctica estos efectos pueden ser considerados mediante la estimación del coeficiente de escorrentía promedio de la cuenca o coeficientes parciales para cada una de las sub áreas. Al multiplicar la precipitación total por el coeficiente de escorrentía se tiene la precipitación efectiva.

- **Determinación del hidrograma total inicial:** al multiplicar el diagrama área-tiempo por el de la lluvia efectiva se obtiene el diagrama de escurrimiento total expresado en volumen y al dividirlo por el intervalo de tiempo correspondiente se transforma el volumen por unidad de tiempo o gasto.
- **Obtención del hidrograma total final:** el hidrograma obtenido en el punto anterior constituye el hidrograma inicial o de ingreso a un supuesto embalse situado en el extremo inferior de la cuenca. Para obtener el hidrograma total final haciendo el tránsito de la crecida mediante la aplicación del método de Muskingum.

Cuando se habla de transito de crecida, se habla de una técnica hidrológica que busca de considerar el efecto de almacenamiento que se produce tanto en canales (naturales o no), como en las planicies de inundación y sobre la superficie del terreno.

A medida que aumenta el caudal de un río, aumenta también el nivel del agua, y con él la cantidad almacenada temporalmente en el canal. Durante la recesión de la creciente el canal debe producir una cantidad de agua equivalente al volumen almacenado. Teniendo el caudal en un punto aguas arriba, el proceso de tránsito puede utilizarse para calcular el caudal en un punto aguas abajo. Los métodos de tránsito de crecidas puede aplicarse para calcular el hidrograma que resultara de un patrón específico de lluvias de exceso.

El modelo matemático de Muskingum está dado por:

Donde:

$$Q_s = Q_e + K \left(\frac{dQ_e}{dt} - \frac{dQ_s}{dt} \right)$$

X = 0 (valor para un embalse)

K = se obtiene de la gráfica **K – Tc** (ver figura 15)

Q_e = Caudal de entrada, en m³/s.

Q_s = Caudal de salida, m³/s.

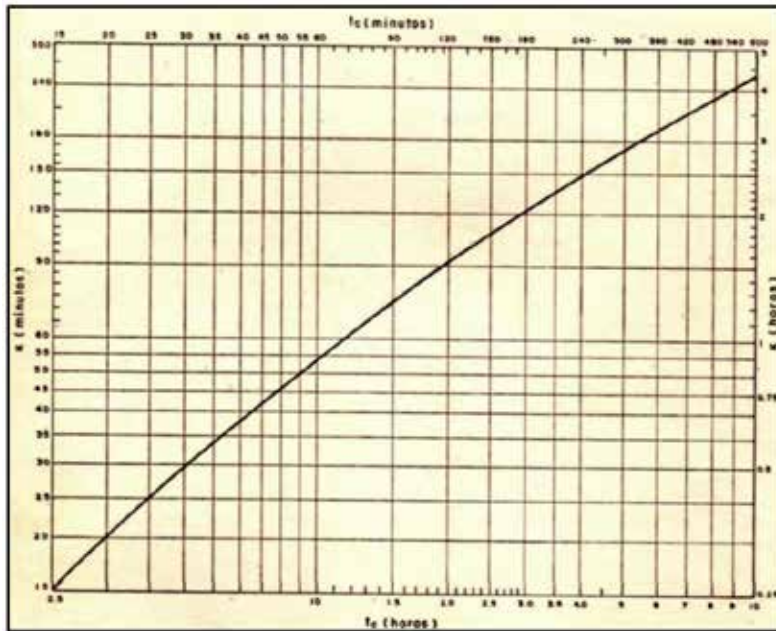


Figura 20: Grafico K-tiempo de concentración
Fuente: Luis Franceschi, 1983

Donde:

t: intervalo de tiempo (T_u), en min.

n: número de curvas isócronas.

A_i: área de la isócrona, en km^2 .

P_i: precipitación efectiva de la subárea, en mm.

Teniendo en consideración que la suma de los tres coeficientes es igual a 1, por lo tanto:

2.2.32 Drenajes

Es la acción de dar salida el agua de los terrenos húmedos por medio de las estructuras e implementos adecuados. En el drenaje vial, esta acción está destinada a mantener la vía libre de agua, tanto durante de la lluvia como después de ella.

Para ello se deben disponer estructuras que capten las aguas superficiales y subterráneas, las conduzcan fuera de la carretera y las dispongan en los cauces

naturales, evitando los daños a la vía o las propiedades adyacentes y permitiendo el tránsito seguro y cómodo de vehículos. El drenaje vial puede dividirse en urbano y rural, ya que algunas de las estructuras se emplean predominantemente en uno u otro de ellos.

2.3 Bases Legales

Medio Ambiente (2006)

La Ley Orgánica del Ambiente señala en su artículo 3 las definiciones de varios conceptos entre los que destaca el de ambiente, al respecto establece lo siguiente, cito:

“Conjunto o sistema de elementos de naturaleza física, química, biológica o socio cultural, en constante dinámica por la acción humana o natural, que rige y condiciona la existencia de los seres humanos y demás organismos vivos, que interactúan permanentemente en un espacio y tiempo determinado.”

En relación a la definición anterior, se llama medio ambiente al conjunto de recursos naturales, sociales y culturales que existen en un lugar determinado. Estos recursos están constituidos por bienes tangibles.

Ley de Desarrollo Sostenible (2000)

De acuerdo a la legislación venezolana, la protección del medio ambiente como un deber ciudadano, lo contempla la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, publicada en Gaceta Oficial N° 5.453 de fecha 24 de marzo de 2000. La norma incluye un capítulo completo sobre los Derechos Ambientales, fundamentado en el desarrollo sustentable y los principios contenidos en los tratados internacionales. En el Título III que lleva por nombre: De los Derechos Humanos y Garantías, y de los Deberes, Capítulo IX De los Derechos Ambientales.

“**Artículo 127.-** Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente

seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica. El genoma de los seres vivos no podrá ser patentado, y la ley que se refiera a los principios bioéticos regulará la materia.”

“**Artículo 128.**- El Estado desarrollará una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales, económicas, políticas, de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentable, que incluya la información, consulta y participación ciudadana. Una ley orgánica desarrollará los principios y criterios para este ordenamiento.”

“**Artículo 129.** Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y sociocultural. El Estado impedirá la entrada al país de desechos tóxicos y peligrosos, así como la fabricación y uso de armas nucleares, químicas y biológicas. Una ley especial regulará el uso, manejo, transporte y almacenamiento de las sustancias tóxicas y peligrosas.”

La Constitución expone la necesidad de proteger y conservar el medio ambiente en beneficio común para todos los ciudadanos. Esta normativa legal, recalca el deber y el derecho que tienen todos los venezolanos de preservar y disfrutar de un ambiente sano y seguro.

Ley Orgánica del Ambiente (2006)

Señala en su Título V que lleva por nombre: De los recursos naturales y la diversidad biológica, Capítulo III De los demás Elementos del Ambiente, los siguientes artículos:

“**Artículo 55.-** La gestión integral del agua está orientada a asegurar su conservación, garantizando las condiciones de calidad, disponibilidad y cantidad en función de la sustentabilidad del ciclo hidrológico.”

“**Artículo 56.-** Para asegurar la sustentabilidad del ciclo hidrológico y de los elementos que intervienen en él; se deberán conservar los suelos, áreas boscosas, formaciones geológicas y capacidad de recarga de los acuíferos.”

“**Artículo 57.-** Para la conservación de la calidad del agua se tomarán en consideración los siguientes aspectos:

- La clasificación de las aguas atendiendo a las características requeridas para los diferentes usos a que deba destinarse.
- Las actividades capaces de degradar las fuentes de aguas naturales, los recorridos de éstas y su represamiento.
- La reutilización de las aguas residuales previo tratamiento.
- El tratamiento de las aguas.
- La protección integral de las cuencas hidrográficas.
- El seguimiento continuo y de largo plazo de la calidad de los cuerpos de agua.
- El seguimiento continuo de los usos de la tierra y sus impactos sobre las principales cuencas hidrográficas, que abastecen de agua a las poblaciones humanas y los sistemas de riego de las áreas agrícolas.”

En tal sentido, la ley busca asegurar el bienestar ecológico y social, manejando los recursos naturales en este caso el agua con eficiencia y eficacia, sin comprometer a las generaciones futuras.

Ley de Aguas (2007)

Fue publicada en Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 35.595 de fecha 02 de enero de 2007. Dicha ley tiene como objetivo regir la

gestión integral del agua, tomando en consideración que éste líquido es vital para la subsistencia del hombre en la tierra.

En el Título IV que lleva por nombre: De las regiones y cuencas hidrográficas e hidrogeológicas, Capítulo II De las regiones hidrográficas; señala las regiones y cuencas integrantes en el siguiente artículo:

“**Artículo 17.**-A los efectos de esta Ley, se establecen las siguientes regiones hidrográficas y se señalan las cuencas hidrográficas que las integran:

5. Central: Cuencas hidrográficas de los ríos Tuy, Guapo, Cúpira, Capaya y las que drenan al litoral de los estados Vargas, Miranda y Aragua.”

En dicho artículo se observa como nombran al río Cúpira como integrante de la Ley de Agua y viene beneficiado de dicha ley.

Ley Penal del Ambiente (2012)

Esta Ley fue publicada en Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 39.913 Extraordinario, de fecha 02 de Mayo de 2012. De acuerdo a lo establecido con el Título I que lleva por nombre Disposiciones Generales, define como objetivo de la Ley Penal del Ambiente:

“**Artículo 1.**- Tipificar como delitos aquellos hechos atentatorios contra los recursos naturales y el ambiente e imponer las sanciones penales: Asimismo, determinar las medidas precautelarias, de restitución y de reparación a que haya lugar y las disposiciones de carácter procesal derivadas de la especificidad de los asuntos ambientales”.

En el Título III que lleva por nombre: De los delitos contra el ambiente, Capítulo V Degradación Alteración, Deterioro y Demás Acciones Capaces de Causar Daños a las Aguas se dictan los siguientes artículos:

“**Artículo 56.**-La persona natural o jurídica que modifique el sistema de control o las escorrentías de las aguas, obstruya el flujo o el lecho natural de los ríos, o provoque su sedimentación en contravención a las normas técnicas vigentes

y sin la autorización correspondiente, será sancionada con prisión de uno a cinco años o multa de unas mil unidades tributarias (1.000 U.T.) a cinco mil unidades tributarias (5.000 U.T.).”

“**Artículo 57.-** La persona natural o jurídica que ilegalmente interrumpa el servicio de agua a un centro poblado, será sancionada con prisión de dos a cinco años o multa de dos mil unidades tributarias (2.000U.T.) a cinco mil unidades tributarias (5.000 U.T.).”

“**Artículo 58.-** La persona natural o jurídica que utilice aguas ilícitamente o en cantidades superiores a las que las normas técnicas sobre su uso racional le señalen, será sancionada con arresto de dos a cuatro meses o multa de doscientas unidades tributarias (200U.T.) a cuatrocientas unidades tributarias (400 U.T.). Si el uso ilícito o en cantidades superiores a las permitidas impide o entorpece a centros poblados el aprovechamiento de las mismas aguas, la sanción será de arresto de cuatro a seis Meses o multa de cuatrocientas unidades tributarias (400U.T.) a seiscientas unidades tributarias (600 U.T.). Si el uso ilícito o en cantidades superiores a las que hubieren sido autorizadas se realiza con motivo de la ejecución de actividades industriales, agrícolas, pecuarias, mineras, urbanísticas o cualesquiera otras de explotación económica, la sanción será de prisión de seis meses a un año o multa de seiscientas unidades tributarias (600 U.T.) a unas mil unidades tributarias (1.000 U.T.).”

“**Artículo 59.-** En los casos previstos en los artículos precedentes se ordenará además al infractor realizar lo necesario para que pueda ser restablecido el uso de las aguas y se señalará un plazo para ello.”

“**Artículo 60.-** La persona natural o jurídica que rompiendo o inutilizando, en todo o en parte, barreras, esclusas, diques u otras obras destinadas a la defensa común de las aguas, a su normal conducción, o a la reparación de algún desastre, haya hecho surgir el peligro de inundación o de cualquier desastre, será sancionada

con prisión de seis meses a dos años o multa de quinientas unidades tributarias (500 U.T), a dos mil unidades tributarias (2.000 U.T.). Si efectivamente se hubiere causado la inundación o desastre, se aplicará la pena de prisión de tres a cinco años o la disolución de la persona jurídica y la multa elevada al doble. En todo caso se ordenará al infractor la restauración de las obras o lugares y la publicación especial de la sentencia.”

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (CRBV - 1999)

En sus artículos N° 55, de los Derechos Civiles y N° 156, de la Competencia del Poder Público Nacional.

Ley de Gestión Integral de Riesgos Socio-naturales y Tecnológicos (G.I.R.S.T – 2009)

Tiene como objetivo conformar y regular la gestión integral de riesgos socio-naturales y tecnológicos, estableciendo los principios rectores y lineamientos que orientan la política nacional, estatal y municipal en materia de gestión integral de riesgos. Define lineamientos de la política nacional, la creación del Consejo Nacional de Gestión Integral de Riesgos, la Secretaría Técnica Nacional, los Gabinetes Estadales de Gestión Integral de Riesgos y los Gabinetes Locales de Gestión Integral de Riesgos.

Ley de la Organización Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres (2001)

Tiene como objetivo regular la organización, competencia, integración, coordinación y funcionamiento de la Organización de Protección Civil y Administración de Desastres en el ámbito nacional, estatal y municipal.

Ley de Coordinación de Seguridad Ciudadana (2001)

Tiene como objetivo regular la coordinación entre los órganos de Seguridad ciudadana, sus competencias concurrentes, cooperación recíproca y el establecimiento de parámetros en el ámbito de su ejercicio.

Ley Especial de Refugios Dignos (2011)

Tiene como propósito regular la acción corresponsable del Pueblo y del Gobierno de la República Bolivariana de Venezuela, en el marco del Estado Democrático y Social de Derecho y de Justicia, para la construcción, habilitación, acondicionamiento, organización, atención integral y gestión de los refugios en todo el territorio nacional, a fin de proteger a la población en casos de emergencias o desastres.

Decreto con Fuerza de Ley de la Organización Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres (2001)

Tiene por objeto regular la organización, competencia, integración, coordinación y funcionamiento de la Organización de Protección Civil y Administración de Desastres en el ámbito nacional, estatal y municipal.

2.4 Definición de Términos Básicos

Cauce: Lugar físico por donde mana el agua en su curso de un arroyo o río, es decir, a la depresión del terreno que contiene al agua.

Precipitación: Resultado de la condensación del vapor de agua atmosférico, el cual se deposita en la superficie de la tierra.

Escorrentía superficial: Lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje.

Caudal: Volumen de un determinado fluido que circula por el área de una sección por unidad de tiempo.

Riesgo: es una medida de la magnitud de los daños frente a una situación peligrosa. El riesgo se mide asumiendo una determinada vulnerabilidad frente a cada tipo de peligro.

Amenaza: hecho que puede producir un daño provocado por un evento natural o antropogénico.

Vulnerabilidad: Factor complejo interno de riesgo o sistema que corresponde al grado de exposición a sufrir algún daño por la manifestación de una amenaza específica, ya sea de origen natural o antrópico, debido a su disposición intrínseca de ser dañado.

Peligrosidad: básicamente se refiere a la probabilidad de ocurrencia de una situación peligrosa.

Cuenca: es un territorio vaciado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus aguas dan al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico.

Río: es una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado.

Inundación: es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de esta, por desbordamiento de ríos, torrentes o ramblas, por lluvias torrenciales, deshielo, por subida de las mareas por encima del nivel habitual, por maremotos, huracanes, entre otros.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Según Tamayo y Tamayo (2003), “la metodología constituye la medula del plan; se refiere a la descripción de las unidades de análisis o de investigación, técnicas de observación y recolección de datos, los instrumentos, los procedimientos y las técnicas de análisis”. El marco metodológico que define la siguiente investigación está constituido por los siguientes puntos: tipo, diseño y nivel de la investigación, población y de recolección de datos y las fases metodológicas.

3.1 Tipo de Investigación

Un proyecto factible consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales según lo expresa (Libertador, 2002), en este sentido ya que el objetivo de esta investigación es desarrollar un análisis integral de la vulnerabilidad y riesgo a inundaciones en la cuenca del río Cúpira desde el sector Tulipán hasta la confluencia con el río San Diego, sector Valle Verde del municipio San Diego, estado Carabobo.

3.2 Diseño de la Investigación

“Es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la investigación se clasifica en: documental, de campo y experimental” (Arias, 2006). El diseño de investigación señala la forma de conceptualizar un problema de investigación y la manera de colocarlo dentro de una estructura que sea guía para la experimentación (En el caso de los diseños experimentales) y de recopilación de datos.

La estrategia adoptada en la presente investigación para la resolución de la problemática inicia a través de la recolección de toda la data existente y necesaria para hacer el estudio o análisis hidráulico a través de un software y métodos analíticos, pronosticando la posibilidad de inundación en la cuenca del río en estudio y evaluar posibles soluciones en caso de que ocurra dicho fenómeno. Es importante destacar que en esta investigación los datos fueron extraídos directamente del río en estudio, lo cual corresponde a un diseño de investigación de campo, en el cual “los datos de interés se recogen en forma directa de la realidad, mediante el trabajo concreto del investigador y su equipo. Estos datos, obtenidos directamente de la experiencia empírica, son llamados primarios, denominación que alude al hecho de que son datos de primera mano, originales, producto de la investigación en curso sin intermediación de ninguna naturaleza” (Sabino, 1992).

3.3 Nivel de la Investigación

“El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto en estudio”. (Arias, 2006). De acuerdo con esto, el nivel del presente trabajo corresponde al descriptivo, definido según (Tamayo y Tamayo, 2003) como aquel que comprende la “descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos.

El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente”, de igual forma (Sabino, 1992) expresa que “en una investigación de nivel descriptivo, su preocupación primordial radica en describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos. Las investigaciones descriptivas utilizan criterios sistemáticos que permiten poner de manifiesto la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionado de ese modo información sistemática y comparable con la de otras fuentes”. En relación a esto, la actual investigación pretendió profundizar

en cuanto al estudio hidráulico del río en estudio, con su respectivo análisis de inundación y la evaluación de una posible solución o recomendación para estos resultados.

3.4 Población y muestra

Comúnmente en la presente sección del marco metodológico de un trabajo de grado desarrollado en base al estudio de un tema relacionado al entorno social, la definición de los términos de población y muestra se realizan en base a la formulación de una ecuación probabilística donde se caracterizan los dos términos.

Por concepto de población se entiende que es el conjunto total de individuos, objetos o medidas que poseen algunas características comunes observables en un lugar y en un momento determinado.

En el caso del desarrollo de este trabajo de grado, representó un estudio de concepción técnica, este no es afectado por el comportamiento de individuos y sus características, por lo que no resulta factible, plantear o determinar de forma específica la población y la muestra, ya que no se puede aplicar una probabilidad al tema en estudio.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

“Se entenderá por técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información” (Arias, 2006). El ser humano desde el principio de los tiempos ha utilizado la observación, a través de sus sentidos de percepción para recolectar la información que considera importante en su aprendizaje y desarrollo, de la misma forma, el “percibir activamente de la realidad exterior con el propósito de obtener los datos que, previamente, han sido definidos como de interés para la investigación” (Sabino, 1992) constituye la mejor aplicación para la recolección de datos que en el marco teórico del presente trabajo, se han constituido como los aspectos influyentes y determinantes en el estudio hidráulico para el puente en estudio. Ahora bien, en función a la técnica, aparecer los instrumentos de

recolección de datos necesarios para manejar y administrar la información obtenida, siendo estos definidos como “cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital, que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información” (Arias, 2006).

En función a esto, la información que se manejó en el presente trabajo fue adquirida por medio de recursos físicos de carácter bibliográfico, así como también datos obtenidos en campo; por otro lado, los dispositivos de manejo y administración de la información correspondieron a medios digitales y tecnológicos como lo son aquellos programas de almacenamiento de información y administración de datos.

3.6 Fases Metodológicas

Con la finalidad de desarrollar una eficaz metodología en la investigación, que permita al lector entender de manera secuencial y ordenada los pasos necesarios a seguir para la ejecución y consumación del objetivo principal del presente trabajo, se disponen a continuación, las distintas fases que se desarrollan en el estudio:

Fase I: Evaluar la información hidrológica existente y su relación con los eventos de inundaciones ocurridos en la cuenca.

En el presente trabajo de grado es indispensable el uso de la data correspondiente al cauce del río, tomando en cuenta información de eventos noticiosos previos como antecedentes referenciales, así como la suministrada por la Alcaldía de San Diego del Estado Carabobo.

Fase II: Analizar el comportamiento hidráulico del cauce del río Cúpira en eventos de diferentes periodos de retorno.

A través del estudio de las crecidas del cauce, se puede obtener las conocidas manchas de inundación y de esta manera poder tener un análisis del comportamiento del río Cúpira en eventos de diferentes periodos de retorno.

Fase III: Investigar las propiedades y características de los suelos adyacentes al río Cúpira.

Es de suma importancia conocer las propiedades y características de los suelos adyacentes al río Cúpira, utilizando documentación de estudios de suelos hechos previamente por edificaciones circundantes a este, así como también ensayos de muestras tomadas en sitio, para así obtener un estudio más completo del suelo del río en estudio.

Fase IV: Diseñar un mapa de riesgo de zonas inundables del tramo en estudio de la cuenca del río Cúpira del municipio San Diego.

En esta fase luego de obtener resultados previos en cuanto al crecimiento del cauce, y el estudio de suelos, se diseñará un mapa de riesgo de zonas inundables del tramo en estudio.

Fase V: Estimar la vulnerabilidad de las zonas adyacentes al río Cúpira propensas a inundaciones en función del uso del suelo.

Estudiando el mapa de riesgo diseñado para las zonas inundables en las zonas circundantes al río Cúpira se podrá estimar de manera cualitativa que tan vulnerables puede ser cada zona a lo largo del tramo estudiado de dicha cuenca.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Con la finalidad de desarrollar cada uno de los objetivos específicos y dar cumplimiento así al objetivo general del estudio, el cual se basa en Analizar la vulnerabilidad y riesgo de inundaciones en la cuenca del río Cúpira desde el sector Tulipán hasta la confluencia con el río San Diego, sector Valle Verde del municipio San Diego, estado Carabobo, se diseñó una metodología que será descrita a continuación:

4.1 Evaluar la información hidrológica existente y su relación con los eventos de inundaciones ocurridos en la cuenca

Siempre resulta complejo recolectar la información necesaria para hacer los estudios hidrológicos a una cuenca, por lo general se debe recaudar datos de las lluvias como las intensidades, su duración, además de las características principales del cauce, entre otros. Para poder realizar los cálculos necesarios expresados en capítulos previos, se crearon diferentes bases de datos para estudiar el comportamiento de la cuenca, data meteorológica de la estación más cercana, estudio de las características de la cuenca, entre otros.

A continuación, se detallan las características de cada una de las bases de datos que se emplearon y generaron esta tesis, de igual forma se dará a conocer la principal importancia de cada uno de estos para la presente investigación.

4.1.1 Estudios Hidrológicos

Los estudios Hidrológicos otorgan información necesaria para la determinación del caudal de diseño por ser este uno de los parámetros que primordialmente influyen en el estudio de los eventos de inundación, algunos de los datos que se requieren para el cálculo son:

Hidroclimática

Para la caracterización del régimen de precipitación mensual y anual, su distribución espacial t el análisis de las lluvias extremas, se recopiló y analizaron los registros de precipitación de estaciones climatológicas ubicadas en las adyacencias de la ubicación del proyecto. Los datos utilizados en la presente investigación proceden de la estación San Diego la cual se observa detalladamente en la figura 21.

M	Tr	Prob. Ocu	Intensidad								
			Minutos		Horas						
			15	30	1	2	3	6	9	12	24
1	31	0,0322581	57,2	76,5	86	127	140	140	140	140	149
2	15,5	0,0645161	40,1	50	81	83	107	107	112	131	141
3	10,33	0,0968054	39,3	45,5	70	81	94	94	94	125	136
4	7,75	0,1290323	34,1	45,3	69	78	82	84	87	89	126
5	6,2	0,1612903	31	43,8	67	75	81	81	85	88	111
6	5,17	0,1934236	30,4	43	59	71	79	79	84	84	108
7	4,43	0,2257336	28	40,1	57	65	78	78	81	81	98
8	3,88	0,257732	26,2	39,3	51	61	77	77	79	79	89
9	3,44	0,2906977	25,7	38	50	58	76	76	78	78	85
10	3,1	0,3225806	24,7	37,6	49	56	73	73	76	77	84
11	2,82	0,3546099	24,5	37,5	47	52	61	69	74	74	83
12	2,58	0,3875969	24,4	37	46	51	58	66	73	73	81
13	2,38	0,4201681	23,5	36,8	45	50	56	65	69	70	80
14	2,21	0,4524887	23,4	35,9	39	40	55	64	66	66	77
15	2,07	0,4830918	23	33,9	36	38	53	61	65	59	74
16	1,94	0,5154639	22,7	33,6	34	37	52	59	64	57	73
17	1,82	0,5494505	22	32,4	33	33	51	58	61	53	72
18	1,72	0,5813953	21,9	31,3	30	31	50	53	59	52	70
19	1,63	0,6134969	19,7	28,7	26	30	43	52	53	50	62
20	1,55	0,6451613	18,7	28,5	25	26	39	51	51	47	52
21	1,48	0,6756757	17,4	26,5	21	21	37	50	50	46	50
22	1,41	0,7092199	16,9	24	19	10	35	44	44	45	45
23	1,35	0,7407407	16,3	23,8	18	0	33	43	43	44	44
24	1,29	0,7751938	15,9	21,3	11	0	31	39	39	40	43
25	1,24	0,8064516	15,2	18,1	10	0	26	37	37	39	42
26	1,19	0,8403361	14,9	13,3	0	0	23	33	33	34	34
27	1,15	0,8695652	10,1	9,6	0	0	21	31	31	33	33
28	1,11	0,9009009	8,5	9,2	0	0	10	26	26	26	28
29	1,07	0,9345794	7,9	9,1	0	0	0	23	23	23	10
30	1,03	0,9708738	0	0	0	0	0	10	10	10	0

ESTACION: SAN DIEGO

SERIAL: 0451

Figura 21: Data meteorológica ordenada, Estación San Diego

Fuente: Hernández & Cupen, 2017

Seguido de la obtención de los datos de precipitación de la estación climatológica adyacente a la ubicación del proyecto y además del ordenamiento de la misma, se procedió a elaborar las rectas en el papel probabilístico de Gumbel tipo I para distintas duraciones como se observa en la figura 22 y en la figura 23.

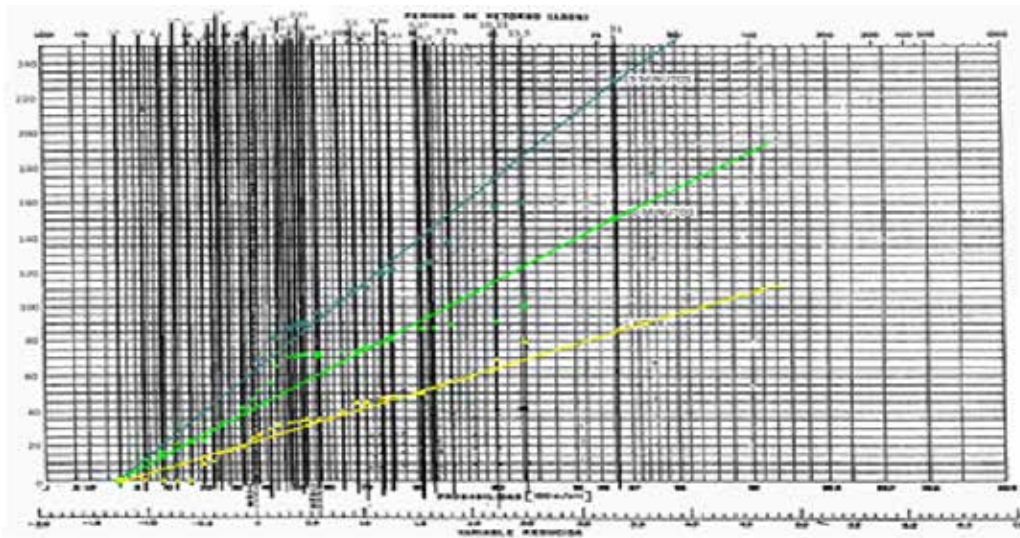


Figura 22: Papel probabilístico Gumbel tipo I, 15, 30 minutos, 1 hora
Fuente: Hernández & Cupen, 2017

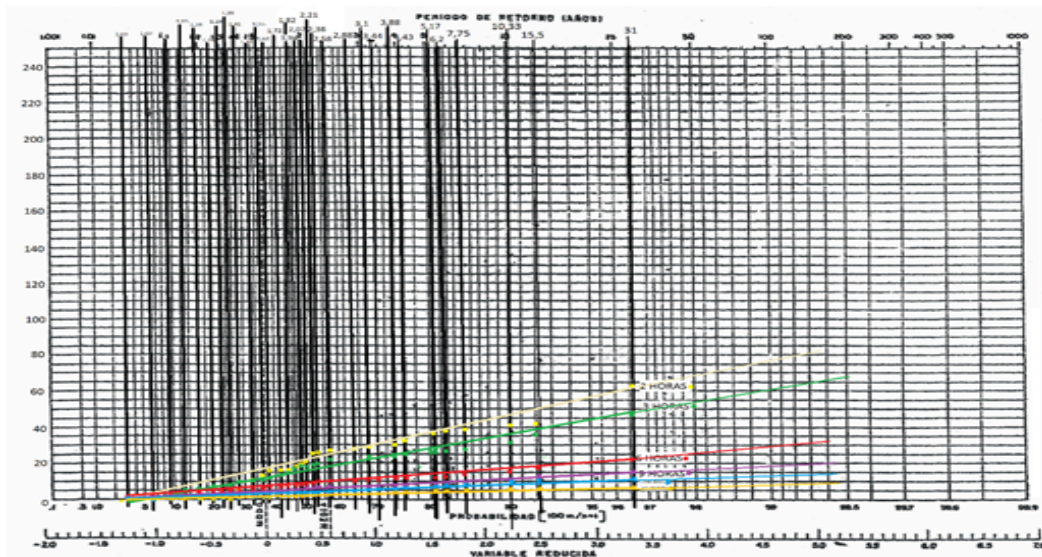


Figura 23: Papel probabilístico Gumbel tipo I, 2, 3, 6, 12, 24 horas
Fuente: Hernández & Cupen, 2017

Seguido del trazado de las rectas para las distintas duraciones de las precipitaciones, se procedió a realizar los cortes con las ordenadas referente a los periodos de retorno para así obtener las Curvas IDF respectivas para estimar la intensidad de las lluvias en función de las duraciones de la precipitación, las cuales se observan en la figura 24.

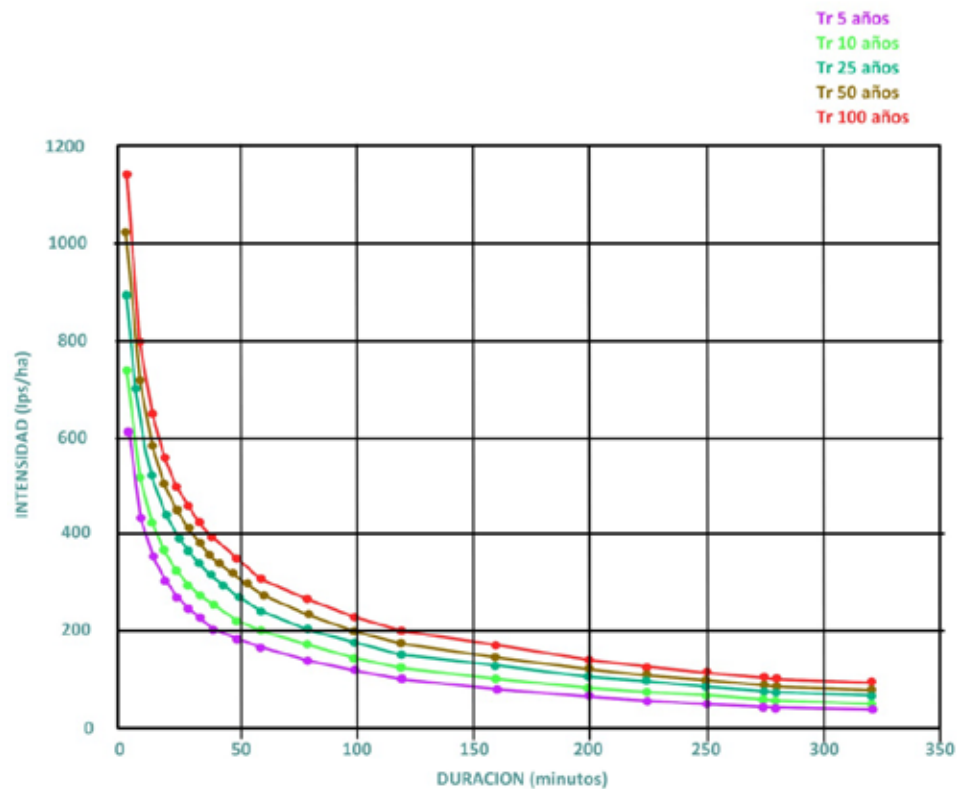


Figura 24: Curvas IDF obtenidas de los datos de la estación San Diego

Fuente: Hernández & Cupen, 2017

· **Descripción del sistema de drenajes bajo estudio**

El punto de análisis se encuentra ubicado en la zona posterior al centro de atención medica de San Diego, el hospitalito, sector Valle Verde. El punto de concentración del estudio se encuentra en el kilómetro 14,985 de dicho cauce, punto que coincide con la confluencia con el rio San Diego. Es por ello que debe realizarse una estimación de los caudales máximos en ese punto.

4.1.2 Información Cartográfica

Para la descripción del sistema hidrográfico del área bajo estudio y la realización del estudio hidrológico, en vista de la desactualización en lo que respecta a material cartográfico, se procedió a realizar una cartografía de la zona mediante la toma de imágenes satelitales con el software de Google Earth Pro para la divisoria topográfica de la cuenca en estudio, adicionalmente mediante el uso del software Global Mapper se obtuvieron las curvas de nivel respectivas a la cuenca (ver figura 25 y 26).

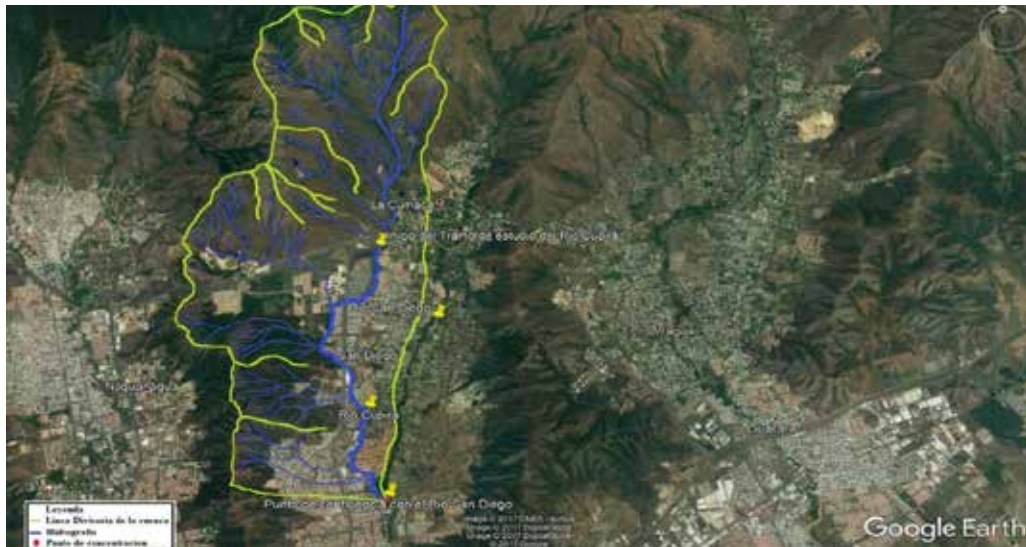


Figura 25: Cuenca del Río Cúpira

Fuente: Google Earth, 2017

- **Coordenadas de los puntos de estudio**

Inicio del cauce Principal del Río Cúpira (Cumaca)

Latitud: 10°19'48.24"N.

Longitud: 67°56'49.22"O.

Altitud: 1785 msnm.

Inicio del tramo de estudio del Río Cúpira

Latitud: 10°16'36.27"N.

Longitud: 67°57'20.85"O.

Altitud: 490 msnm.

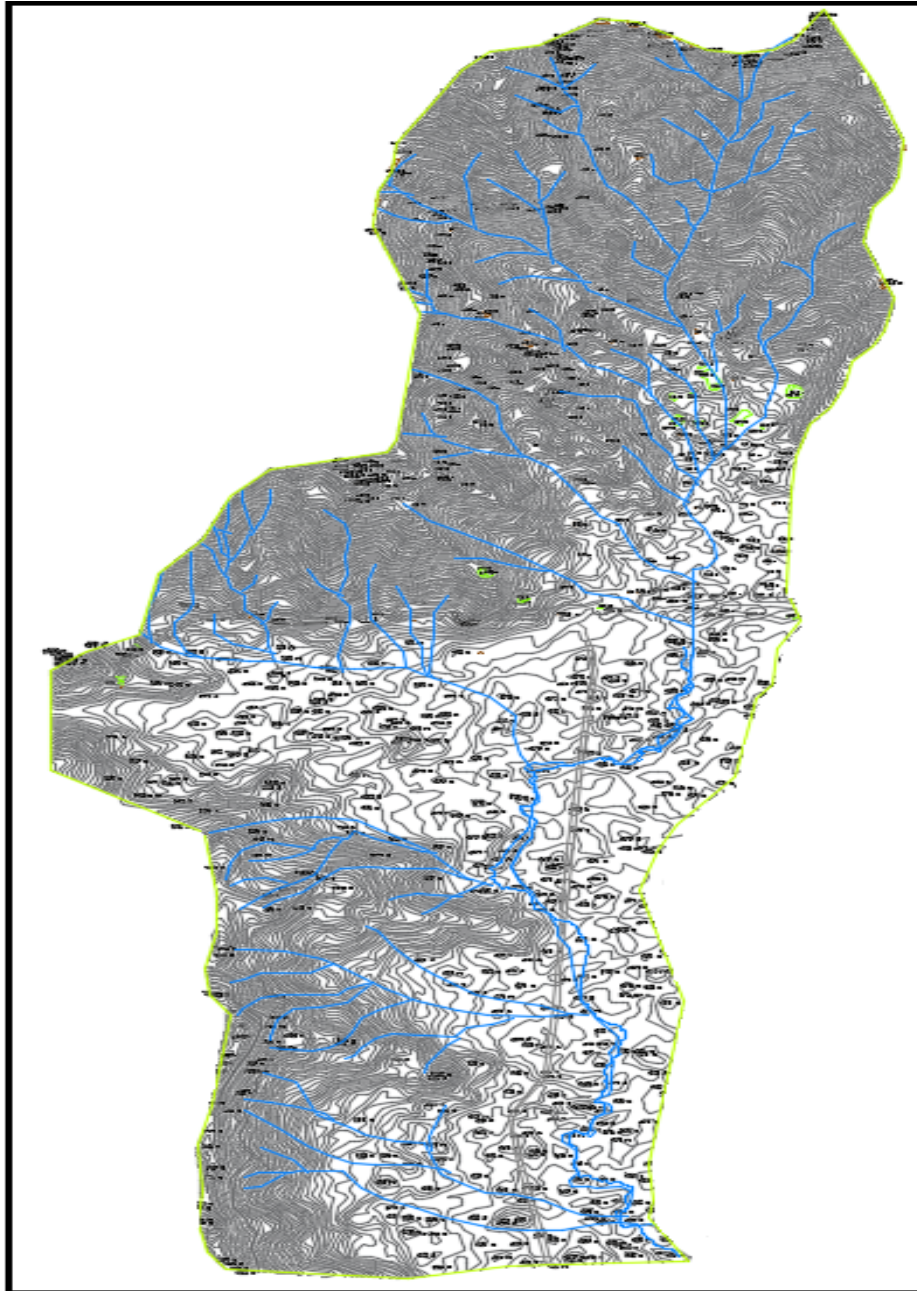


Figura 26: Curvas de Nivel de la cuenca Río Cúpira.

Fuente: Hernández & Cupen, 2017

Punto de confluencia con el Río San Diego

Latitud: 10°13'26.81"N.

Longitud: 67°57'24.36"O.

Altitud: 450 msnm.

4.2 Analizar el comportamiento hidráulico del cauce del río Cúpira en eventos de diferentes periodos de retorno

El estudio del comportamiento hidráulico del cauce de un río es relevante debido a la necesidad de conocer la capacidad que este puede tener ante eventos de diferentes periodos de retorno, cual puede ser su alcance y el caudal que puede transitar por este, características como el caudal y la altura de nivel de agua que este puede alcanzar son variables necesarias tanto para la construcción de estructuras como puentes como también la zonificación y el estudio de riesgo y vulnerabilidad necesario para establecer un perímetro seguro que permita la construcción de asentamientos urbanos con garantía de seguridad para los habitantes.

Para el estudio del cauce del río Cúpira, se decidió utilizar el método de Clark, conocido también como el método del hidrograma unitario, debido a las limitantes que tiene el método racional, entre las variables principales que destacaron en el cálculo están:

4.2.1 Área total de la cuenca

Para el cálculo del área total, la cuenca fue dividida en dos subcuencas, la primera subcuenca corresponde al tramo desde el inicio del Río Cúpira hasta el punto de inicio del tramo de estudio, luego en la segunda subcuenca que parte del punto de inicio del tramo de estudio del río hasta el punto de confluencia con el río San Diego, mediante el uso de los softwares Google Earth y AutoCAD se procedió a calcular las áreas respectivas a las subcuencas resultando en:

Primera subcuenca: 1758,14 ha (hectáreas).

Segunda subcuenca: 1989,54 ha (hectáreas).

Por lo tanto, el área total de la cuenca:

Área total de la cuenca: 3747,681 ha (hectáreas).

4.2.2 Longitud del cauce principal

Bajo el mismo esquema tomado para el cálculo del área total de la cuenca del río Cúpira, se procedió al cálculo de la longitud del cauce respectivo a cada subcuenca para determinar la longitud total del cauce principal, cuyos resultados fueron los siguientes:

Longitud del cauce de la primera subcuenca: 6,995 km (Kilómetros)

Longitud del cauce de la segunda subcuenca: 9,227 km (Kilómetros)

Por lo tanto, la longitud total del cauce principal:

Longitud total del cauce principal: 16,222 km (kilómetros)

Siguiendo de la obtención de la longitud del cauce principal, junto con las cotas de los puntos destacados en el estudio de la cuenca, se procedió a elaborar el perfil longitudinal teórico para la comprensión y el cálculo de la pendiente media de la cuenca, (ver figura 27)



Figura 27: Perfil longitudinal del Río Cúpira

Fuente: Hernández & Cupen, 2017

4.2.3 Pendiente media del cauce

Luego, mediante el uso de la fórmula de Taylor Schwartz se procedió a calcular la pendiente media del cauce:

_____ sustituyendo, _____
= = =

Siguiendo la metodología de cálculo previamente explicada con los primeros datos, se repitió la operación numerosas veces con distintas progresivas a lo largo de toda la cuenca hasta obtener una pendiente promedio que resulto:

$$S = 0,00763 \text{ ó } 0.7 \%$$

4.2.4 Tiempo de Concentración

En referencia al alcance del proyecto, no se tomó en consideración el cálculo de los gastos de los colectores de agua fluviales, por lo tanto, de la formulación anteriormente descrita en el trabajo se dedujo que el Tiempo de concentración estaría directamente relacionado al tiempo de concentración superficial, resultando:

por lo tanto

=

Donde:

L= longitud del cauce principal,

S= pendiente media del cauce

Por lo tanto el tiempo de concentración resulta:

=====

Tcs: 3,93 horas / 235,87 min

4.2.5 División de la cuenca

Siguiendo el esquema de pasos para la aplicación del método Clark, luego de ser calculado el tiempo de concentración de la cuenca del río Cúpira, se realizó la división de la cuenca en subáreas mediante el trazado de curvas isócronas, para el presente trabajo de grado se utilizaron 8 curvas isócronas, dividiendo el área total en 9 subáreas, las cuales se observan en el cuadro 3.

Tabla 1: Áreas de las curvas isócronas

ÁREAS		
1	1,992	Km2
2	4,028	Km2
3	3,510	Km2
4	3,562	Km2
5	6,312	Km2
6	5,862	Km2
7	2,932	Km2
8	5,251	Km2
9	4,028	Km2
TOTAL	37,477	Km2

Fuente: Hernández & Cupen, 2017

4.2.6 Intervalo de separación entre isócronas, T_u

Luego de haber elegido el número de isócronas, se tomó en consideración el tiempo de concentración T_c , el cual fue calculado en el punto 4.2.4, se dividió entre el número de isócronas para así determinar el tiempo unitario T_u .

—

Donde:

T_c : 3,93 horas / 235,87 min

N: 8 curvas isócronas

Por lo tanto

4.2.7 Diagrama de Área – Tiempo

Una vez calculadas las áreas respectivas de las curvas isocronas y la estimación del Tiempo unitario T_u , se procedió a realizar el diagrama de área – tiempo, el cual se puede observar en la tabla 2 y la figura 28, cuya finalidad consiste en la referencia entre las áreas efectivas que actúan en la precipitación conforme transcurre el tiempo del evento

Tabla 2: Datos a Introducir del diagrama Área – Tiempo

Tiempo Tu (min)	Áreas
29,5	1,992
59	4,028
88,5	3,510
118	3,562
147,5	6,312
177	5,862
206,5	2,932
236	5,251

Fuente: Hernández & Cupen, 2017

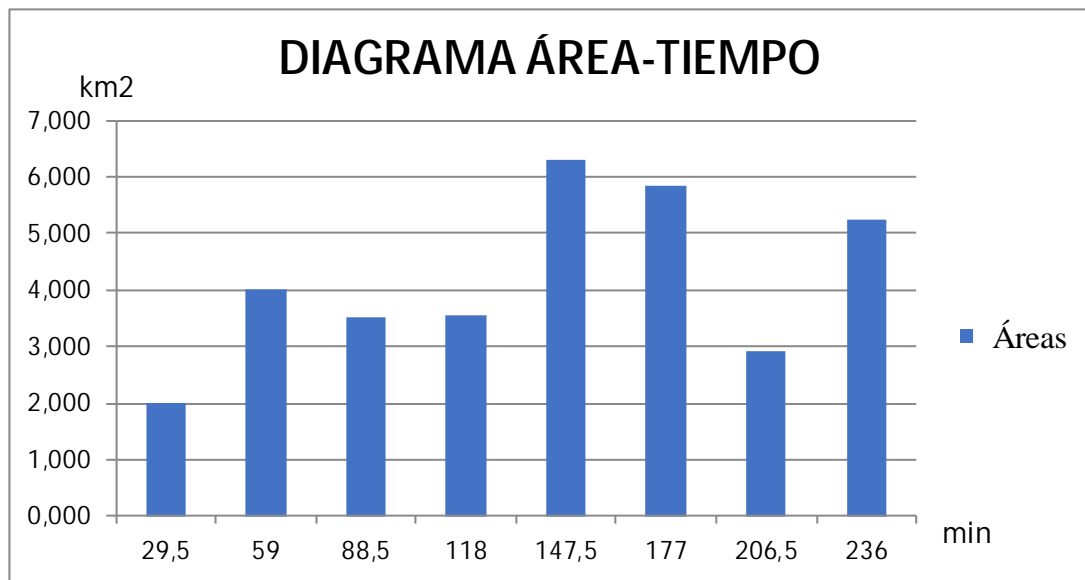


Figura 28: Grafico Diagrama Área – Tiempo

Fuente: Hernández & Cupen, 2017

4.2.8 Calculo de las Intensidades respecto a Tu

Como paso siguiente, se tiene la determinación de las intensidades de los eventos de precipitación a evaluar en la cuenca, es importante que para cada evento se debe estimar una intensidad acorde a la duración previamente calculada, como lo es el tiempo de concentración T_c y el tiempo unitario T_u , la cual será necesaria para la evaluación del comportamiento de la cuenca, en este caso las intensidades

se calcularon mediante el uso de las Curvas IDF, la cual se aprecia en la figura 17, y en el cuadro 5 se puede apreciar los resultados que se obtuvieron.

Tabla 3: Intensidades obtenidas según duración Tu

INTENSIDAD					
DURACIÓN	5	10	25	50	100
min	lps/ha	lps/ha	lps/ha	lps/ha	lps/ha
29,5	310	310	350	390	430
59	175	184	232	280	328
88,5	158	168	198	231	264
118	141	150	157	181	205
147,5	126	133	161	170	179
177	120	128	150	155	160
206,5	110	115	128	133	140
236	97	101	115	121	128

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

4.2.9 Obtención de la precipitación efectiva total en cada subárea

Una vez calculada la intensidad referida a la duración del tiempo unitario Tu, se procedió a calcular la precipitación total en cada subárea de la cuenca, esto permite procesar el comportamiento de cada tramo de área de manera acumulativa e independiente. Por lo tanto, en la tabla 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 se muestran los resultados que se obtuvieron luego de calcular las precipitaciones para cada periodo de retorno elegido para estudiar el presente trabajo de investigación.

Para la obtención del Fp, se realiza el cálculo del coeficiente de escorrentía promedio que se usara para el estudio general de la cuenca.

Tabla 4: Calculo del Fp, Coeficiente de Escorrentía Promedio

ÁREA CUMACA			
	TERRENO PLANO	TOPOGRAFÍA ONDULADA	PENDIENTES %
ÁREA DESARROLLADAS	0,351	0,564	2-10
ÁREAS NO DESARROLLADAS	0,551	0,423	2-7
PROMEDIO ENTRE ÁREAS	0,451	0,4935	
PROMEDIO ÁREA CUMACA	0,47225		

ÁREA DE ESTUDIO			
	TERRENO PLANO	TOPOGRAFÍA ONDULADA	PENDIENTES %
ÁREA DESARROLLADAS	0,4554	0,569	2-5
ÁREAS NO DESARROLLADAS	0,413	0,4345	2-5
PROMEDIO ENTRE ÁREAS	0,4342	0,50175	
PROMEDIO ÁREA DE ESTUDIO	0,467975		

PROMEDIO TOTAL	0,4701125
----------------	------------------

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 5: Factores utilizados para el cálculo de la precipitación efectiva

Factores	
Fp	0,47
FII	0,95

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 6: Precipitación para Tr = 5 Años

Tr = 5 AÑOS			
PRECIPITACIÓN			
min	lluvia puntual	mm	Efectiva
0	0	0	0
29,5	54,87	54,87	24,499455
59	61,95	7,08	3,16122
88,5	83,898	21,948	9,799782
118	99,828	15,93	7,112745
147,5	111,51	11,682	5,216013
177	127,44	15,93	7,112745
206,5	136,29	8,85	3,951525
236	137,352	1,062	0,474183

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 7: Precipitacion para Tr = 10 Años

Tr = 10 AÑOS			
Precipitacion			
min	lluvia puntual	mm	Efectiva
0	0	0	0
29,5	54,87	54,87	24,4995
59	65,136	10,266	4,5838
88,5	89,208	24,072	10,7481
118	106,2	16,992	7,5869
147,5	117,705	11,505	5,1370
177	135,936	18,231	8,1401
206,5	142,485	6,549	2,9241
236	143,016	0,531	0,2371

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 8: Precipitacion para Tr = 25 Años

Tr = 25 AÑOS			
Precipitacion			
min	lluvia puntual	mm	Efectiva
0	0	0	0
29,5	61,95	61,95	27,6607
59	82,128	20,178	9,0095
88,5	105,138	23,01	10,2740
118	111,156	6,018	2,6870
147,5	142,485	31,329	13,9884
177	159,3	16,815	7,5079
206,5	158,592	0,708	0,3161
236	162,84	4,248	1,8967

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 9: Precipitacion para Tr = 50 Años

Tr = 50 AÑOS			
Precipitacion			
min	lluvia puntual	mm	Efectiva
0	0	0	0
29,5	69,03	69,03	30,8219
59	99,12	30,09	13,4352
88,5	122,661	23,541	10,5111
118	128,148	5,487	2,4499
147,5	150,45	22,302	9,9578
177	164,61	14,16	6,3224
206,5	164,787	0,177	0,0790
236	171,336	6,549	2,9241

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 10: Precipitacion para Tr = 100 Años

Tr = 100 AÑOS			
Precipitacion			
min	lluvia puntual	mm	Efectiva
0	0	0	0
29,5	76,11	76,11	33,9831
59	116,112	40,002	17,8609
88,5	140,184	24,072	10,7481
118	145,14	4,956	2,2129
147,5	158,415	13,275	5,9273
177	169,92	11,505	5,1370
206,5	173,46	3,54	1,5806
236	181,248	7,788	3,4773

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

4.2.10 Obtencion del Hidrograma total.

La finalidad del metodo clark o metodo del hidrograma unitario, consiste como objetivo final la obtencion del hidrograma que demuestre el comportamiento de la cuenca, el gasto que por esta transita a lo largo de todas las subareas cuyo punto final es el punto concentracion, puesto que en el presente trabajo de grado se estudio como punto de concentracion la confluencia del río Cúpira con el río San Diego.

Luego de calcularse las precipitaciones efectivas se procedió a calcular el esquema de las areas entre las curvas isocronas, el cual se observa en la tabla 11, a fin de ilustrar el efecto que tiene la distribucion temporal de la precipitacion , luego de tener las áreas entre las curvas isocronas y las precipitaciones efectivas referentes a los distintos periodos de retorno, se procedió a establecer 4 patrones para evidenciar el mayor gasto capaz de aportar la cuenca, los cuales se pueden apreciar en las tablas 12, 13, 14, y 15 respectivamente.

Tabla 11: Áreas entre curvas Isocronas

AREA N°	ISOCRONAS min	AREA		
		Km ²	%	Acumulada
1	0	0,2255	0,6018	0,2255
2	29,5	1,9882	5,3050	2,2137
3	59	1,5103	4,0300	3,4985
4	88,5	1,5619	4,1677	3,0722
5	118	2,3116	6,1680	3,8735
6	147,5	1,8624	4,9695	4,1740
7	177	2,9317	7,8226	4,7941
8	206,5	9,2786	24,7583	12,2103
9	236	28,1982	75,2417	37,4768

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 12: Lluvia Efectiva, Patron A

Patron A								
Tiempo(min)								
Tr	29,5	59	88,5	118	147,5	177	206,5	236
5	7,113	24,499	3,161	9,800	7,113	5,216	3,952	0,474
10	8,140	24,499	4,584	10,748	7,587	5,137	2,924	0,237
25	7,508	27,661	9,009	10,274	2,687	13,988	0,316	1,897
50	6,322	30,822	13,435	10,511	2,450	9,958	0,079	2,924
100	5,137	33,983	17,861	10,748	2,213	5,927	1,581	3,477

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 13: Lluvia Efectiva, Patron B

Patron B								
Tiempo (min)								
Tr	29,5	59	88,5	118	147,5	177	206,5	236
5	7,113	24,499	9,800	7,113	5,216	0,474	3,161	3,952
10	4,168	0,602	4,030	4,970	6,168	24,758	5,305	7,823
25	2,687	27,661	10,274	7,508	13,988	1,897	9,009	0,316
50	2,450	30,822	10,511	6,322	9,958	2,924	13,435	0,079
100	2,213	33,983	10,748	5,137	5,927	3,477	17,861	1,581

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 14: Lluvia Efectiva, Patron C

Patron C								
Tiempo (min)								
Tr	29,5	59	88,5	118	147,5	177	206,5	236
5	7,113	24,499	9,800	7,113	5,216	3,952	3,161	0,474
10	8,140	24,499	10,748	7,587	5,137	2,924	4,584	0,237
25	7,508	27,661	10,274	2,687	13,988	0,316	9,009	1,897
50	6,322	30,822	10,511	2,450	9,958	0,079	13,435	2,924
100	5,137	33,983	10,748	2,213	5,927	1,581	17,861	3,477

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 15: Lluvia Efectiva, Patron D

Patron D								
Tiempo (min)								
Tr	29,5	59	88,5	118	147,5	177	206,5	236
5	7,113	9,800	24,499	7,113	5,216	3,952	3,161	0,474
10	7,587	10,748	24,499	8,140	5,137	2,924	4,584	0,237
25	2,687	10,274	27,661	7,508	13,988	0,316	9,009	1,897
50	2,450	10,511	30,822	6,322	9,958	0,079	13,435	2,924
100	2,213	10,748	33,983	5,137	5,927	1,581	17,861	3,477

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Una vez establecidos los patrones que permitieron interpretar las precipitaciones y elaborar los hidrogramas, se procedió a calcular los hidrogramas

totales que aportaron la información del caudal de salida y el comportamiento de la cuenca, Para ello se usó el método de Muskingum, la formulación en el punto 2.2.29.1, se calculó los valores C_0 , C_1 , C_2 y c_i necesarios para la aplicación del método

Tabla 16: Cálculo de C_0 , C_1 y C_2

n	8
DELTA T (min)	29,5
K (min)	143
X	0
$C_0 = C_1$	0,0935024
C_2	0,8129952

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 17: Cálculo de C_i

AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00
Km²	1,99	4,03	3,51	3,56	6,31	5,86	2,93	5,25	4,03
C_1	7,34	14,85	12,94	13,13	23,27	21,62	10,81	19,36	14,85

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Una vez calculado C_i , se cuenta con todas las variables necesarias para aplicar el método muskingum, a continuación se presentan el conjunto de tablas desde la 18 hasta la 38 correspondientes a los resultados de la aplicación del método para todos los patrones en distintos periodos de retorno.

Tabla 18: Muskingum resultante Patron A-5 Años

PATRÓN A - 5 AÑOS														
AREA N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Qo	CoQe2	C1Qe1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	52,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,23	4,88	0,00	0,00	4,88
59	130,59	105,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	236,24	22,09	4,88	3,97	30,94
88,5	72,55	264,14	92,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	428,76	40,09	22,09	17,96	80,14
118	75,45	146,74	230,17	93,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	545,79	51,03	40,09	32,59	123,72
147,5	48,75	152,61	127,87	233,56	165,54	0,00	0,00	0,00	0,00	728,34	68,10	51,03	41,49	160,62
177	38,31	98,61	132,99	129,75	413,85	153,76	0,00	0,00	0,00	967,28	90,44	68,10	55,37	213,91
206,5	29,02	77,48	85,93	134,94	229,92	384,40	76,89	0,00	0,00	1018,59	95,24	90,44	73,53	259,21
236	3,48	58,70	67,52	87,19	239,12	213,56	192,23	137,72	0,00	999,51	93,46	95,24	77,43	266,13
265,5	0,00	7,04	51,15	68,51	154,51	222,10	106,80	344,29	105,66	1060,05	99,12	93,46	75,98	268,55
295	0,00	0,00	6,14	51,90	121,40	143,51	111,07	191,27	264,14	889,43	83,16	99,12	80,58	262,86
324,5	0,00	0,00	0,00	6,23	91,97	112,76	71,77	198,92	146,74	628,39	58,76	83,16	67,61	209,53
354	0,00	0,00	0,00	0,00	11,04	85,42	56,39	128,54	152,61	434,00	40,58	58,76	47,77	147,10
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,25	42,72	100,99	98,61	252,57	23,62	40,58	32,99	97,19
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,13	76,51	77,48	159,12	14,88	23,62	19,20	57,69
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,18	58,70	67,88	6,35	14,88	12,10	33,32
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,04	7,04	0,66	6,35	5,16	12,17
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	0,54	1,19
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 19: Muskingum resultante Patron A-10 Años

PATRÓN A - 10 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQe2	C1Qe1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	59,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59,78	5,59	0,00	0,00	5,59
59	162,51	120,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	283,42	26,50	5,59	4,54	36,63
88,5	69,65	328,71	105,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	503,72	47,10	26,50	21,55	95,14
118	81,25	140,87	286,44	106,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	615,48	57,55	47,10	38,29	142,94
147,5	34,82	164,35	122,76	290,65	189,45	0,00	0,00	0,00	0,00	802,04	74,99	57,55	46,79	179,33
177	37,72	70,44	143,22	124,56	515,02	175,97	0,00	0,00	0,00	1066,93	99,76	74,99	60,97	235,72
206,5	21,47	76,31	61,38	145,32	220,72	478,37	88,00	0,00	0,00	1091,57	102,06	99,76	81,11	282,93
236	1,74	43,44	66,49	62,28	257,51	205,01	239,22	157,61	0,00	1033,31	96,62	102,06	82,98	281,66
265,5	0,00	3,52	37,85	67,47	110,36	239,18	102,52	428,45	120,92	1110,28	103,81	96,62	78,55	278,98
295	0,00	0,00	3,07	38,41	119,56	102,51	119,61	183,62	328,71	895,48	83,73	103,81	84,40	271,94
324,5	0,00	0,00	0,00	3,11	68,06	111,05	51,26	214,23	140,87	588,58	55,03	83,73	68,07	206,83
354	0,00	0,00	0,00	0,00	5,52	63,21	55,53	91,81	164,35	380,43	35,57	55,03	44,74	135,35
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,13	31,61	99,46	70,44	206,64	19,32	35,57	28,92	83,81
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,56	56,62	76,31	135,49	12,67	19,32	15,71	47,70
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,59	43,44	48,03	4,49	12,67	10,30	27,46
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,52	3,52	0,33	4,49	3,65	8,47
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,27	0,60
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 20: Muskingum resultante Patron A-25 Años

PATRÓN A - 25 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQe2	C1Qe1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	58,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,04	5,43	0,00	0,00	5,43
59	197,33	117,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	314,73	29,43	5,43	4,41	39,27
88,5	69,65	399,14	102,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	571,09	53,40	29,43	23,92	106,75
118	63,84	140,87	347,82	103,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	656,34	61,37	53,40	43,41	158,18
147,5	33,66	129,13	122,76	352,93	183,93	0,00	0,00	0,00	0,00	822,42	76,90	61,37	49,89	188,16
177	99,83	68,09	112,53	124,56	625,38	170,85	0,00	0,00	0,00	1201,23	112,32	76,90	62,52	251,73
206,5	2,32	201,92	59,33	114,18	220,72	580,87	85,44	0,00	0,00	1264,79	118,26	112,32	91,31	321,89
236	13,93	4,70	175,96	60,21	202,33	205,01	290,48	153,02	0,00	1105,63	103,38	118,26	96,15	317,79
265,5	0,00	28,17	4,09	178,54	106,68	187,93	102,52	520,26	117,40	1245,60	116,47	103,38	84,05	303,89
295	0,00	0,00	24,55	4,15	316,37	99,09	93,98	183,62	399,14	1120,91	104,81	116,47	94,69	315,96
324,5	0,00	0,00	0,00	24,91	7,36	293,85	49,55	168,32	140,87	684,87	64,04	104,81	85,21	254,05
354	0,00	0,00	0,00	0,00	44,14	6,83	146,95	88,75	129,13	415,81	38,88	64,04	52,06	154,98
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,00	3,42	263,19	68,09	375,70	35,13	38,88	31,61	105,62
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,50	6,12	201,92	228,54	21,37	35,13	28,56	85,06
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,72	4,70	41,42	3,87	21,37	17,37	42,62
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,17	28,17	2,63	3,87	3,15	9,66
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,63	2,14	4,78
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 21: Muskingum resultante Patron A-50 Años

PATRÓN A - 50 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQe2	C1Qe1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	46,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,43	4,34	0,00	0,00	4,34
59	226,35	93,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	320,27	29,95	4,34	3,53	37,82
88,5	87,06	457,84	81,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	626,74	58,60	29,95	24,35	112,89
118	52,23	176,09	398,97	83,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	710,34	66,42	58,60	47,64	172,66
147,5	54,56	105,66	153,45	404,83	147,15	0,00	0,00	0,00	0,00	865,64	80,94	66,42	54,00	201,36
177	73,13	110,35	92,07	155,70	717,35	136,68	0,00	0,00	0,00	1285,28	120,18	80,94	65,80	266,92
206,5	0,58	147,92	96,16	93,42	275,90	666,30	68,35	0,00	0,00	1348,63	126,10	120,18	97,70	343,98
236	21,47	1,17	128,90	97,58	165,54	256,27	333,20	122,41	0,00	1126,55	105,33	126,10	102,52	333,95
265,5	0,00	43,44	1,02	130,79	172,90	153,76	128,15	596,77	93,92	1320,75	123,49	105,33	85,64	314,46
295	0,00	0,00	37,85	1,04	231,76	160,59	76,89	229,53	457,84	1195,50	111,78	123,49	100,40	335,68
324,5	0,00	0,00	0,00	38,41	1,84	215,27	80,31	137,72	176,09	649,63	60,74	111,78	90,88	263,40
354	0,00	0,00	0,00	0,00	68,06	1,71	107,65	143,84	105,66	426,91	39,92	60,74	49,38	150,04
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	63,21	0,85	192,80	110,35	367,22	34,34	39,92	32,45	106,71
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,61	1,53	147,92	181,06	16,93	34,34	27,92	79,18
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,62	1,17	57,79	5,40	16,93	13,76	36,10
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,44	43,44	4,06	5,40	4,39	13,86
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,06	3,30	7,36
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 22: Muskingum resultante Patron A-100 Años

PATRÓN A - 100 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQe2	C1Qe1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	34,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,82	3,26	0,00	0,00	3,26
59	243,76	70,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	314,20	29,38	3,26	2,65	35,28
88,5	116,08	493,06	61,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	670,52	62,69	29,38	23,88	115,96
118	58,04	234,79	429,66	62,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	784,77	73,38	62,69	50,97	187,04
147,5	58,04	117,40	204,60	435,97	110,36	0,00	0,00	0,00	0,00	926,37	86,62	73,38	59,66	219,65
177	46,43	117,40	102,30	207,61	772,53	102,51	0,00	0,00	0,00	1348,77	126,11	86,62	70,42	283,15
206,5	11,61	93,92	102,30	103,80	367,87	717,55	51,26	0,00	0,00	1448,31	135,42	126,11	102,53	364,06
236	25,54	23,48	81,84	103,80	183,93	341,69	358,83	91,81	0,00	1210,93	113,22	135,42	110,10	358,74
265,5	0,00	51,65	20,46	83,04	183,93	170,85	170,87	642,68	70,44	1393,92	130,34	113,22	92,05	335,61
295	0,00	0,00	45,01	20,76	147,15	170,85	85,44	306,04	493,06	1268,30	118,59	130,34	105,96	354,89
324,5	0,00	0,00	0,00	45,67	36,79	136,68	85,44	153,02	234,79	692,38	64,74	118,59	96,41	279,74
354	0,00	0,00	0,00	0,00	80,93	34,17	68,35	153,02	117,40	453,86	42,44	64,74	52,63	159,81
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,17	17,09	122,41	117,40	332,07	31,05	42,44	34,50	107,99
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,59	30,60	93,92	162,11	15,16	31,05	25,24	71,45
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,33	23,48	90,81	8,49	15,16	12,32	35,97
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51,65	51,65	4,83	8,49	6,90	20,22
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,83	3,93	8,76
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 23: Muskingum resultante Patron B-5 Años

PATRÓN B - 5 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQo	C1Qo1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	48,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,75	4,56	0,00	0,00	4,56
59	130,59	98,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	229,20	21,43	4,56	3,71	29,70
88,5	75,45	264,14	85,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	425,52	39,79	21,43	17,42	78,64
118	52,23	152,61	230,17	87,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	522,22	48,83	39,79	32,35	120,96
147,5	38,31	105,66	132,99	233,56	154,51	0,00	0,00	0,00	0,00	665,01	62,18	48,83	39,70	150,71
177	3,48	77,48	92,07	134,94	413,85	143,51	0,00	0,00	0,00	865,34	80,91	62,18	50,55	193,64
206,5	72,55	7,04	67,52	93,42	239,12	384,40	71,77	0,00	0,00	935,82	87,50	80,91	65,78	234,19
236	29,02	146,74	6,14	68,51	165,54	222,10	192,23	128,54	0,00	958,82	89,65	87,50	71,14	248,29
265,5	0,00	58,70	127,87	6,23	121,40	153,76	111,07	344,29	98,61	1021,93	95,55	89,65	72,89	258,09
295	0,00	0,00	51,15	129,75	11,04	112,76	76,89	198,92	264,14	844,65	78,98	95,55	77,68	252,21
324,5	0,00	0,00	0,00	51,90	229,92	10,25	56,39	137,72	152,61	638,79	59,73	78,98	64,21	202,91
354	0,00	0,00	0,00	0,00	91,97	213,56	5,13	100,99	105,66	517,30	48,37	59,73	48,56	156,66
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85,42	106,80	9,18	77,48	278,88	26,08	48,37	39,32	113,77
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,72	191,27	7,04	241,03	22,54	26,08	21,20	69,81
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	76,51	146,74	223,25	20,87	22,54	18,32	61,73
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,70	58,70	5,49	20,87	16,97	43,33
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,49	4,46	9,95
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 24: Muskingum resultante Patron B-10 Años

PATRÓN B - 10 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQo	C1Qo1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	69,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	69,80	6,53	0,00	0,00	6,53
59	39,03	141,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	180,21	16,85	6,53	5,31	28,68
88,5	68,79	78,94	123,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	270,75	25,32	16,85	13,70	55,86
118	114,88	139,14	68,79	124,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	447,64	41,86	25,32	20,58	87,75
147,5	123,68	232,36	121,25	69,80	221,20	0,00	0,00	0,00	0,00	768,29	71,84	41,86	34,03	147,72
177	102,89	250,17	202,49	123,03	123,68	205,46	0,00	0,00	0,00	1007,71	94,22	71,84	58,40	224,46
206,5	78,94	208,12	218,00	205,46	218,00	114,88	102,75	0,00	0,00	1146,14	107,17	94,22	76,60	277,99
236	57,45	159,67	181,36	221,20	364,07	202,49	57,45	184,02	0,00	1427,70	133,49	107,17	87,13	327,79
265,5	0,00	116,20	139,14	184,02	391,96	338,16	101,26	102,89	141,18	1514,81	141,64	133,49	108,53	383,66
295	0,00	0,00	101,26	141,18	326,08	364,07	169,11	181,36	78,94	1361,99	127,35	141,64	115,15	384,14
324,5	0,00	0,00	0,00	102,75	250,17	302,87	182,06	302,87	139,14	1279,86	119,67	127,35	103,53	350,55
354	0,00	0,00	0,00	0,00	182,06	232,36	151,46	326,08	232,36	1124,33	105,13	119,67	97,29	322,09
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	169,11	116,20	271,27	250,17	806,75	75,43	105,13	85,47	266,03
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	84,57	208,12	208,12	500,80	46,83	75,43	61,33	183,59
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	151,46	159,67	311,13	29,09	46,83	38,07	113,99
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,20	116,20	10,87	29,09	23,65	63,61
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,87	8,83	19,70
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 25: Muskingum resultante Patron B-25 Años

PATRÓN B - 25 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQo	C1Qo1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	33,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,66	3,15	0,00	0,00	3,15
59	197,33	68,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	265,42	24,82	3,15	2,56	30,52
88,5	63,84	399,14	59,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	522,32	48,84	24,82	20,18	93,83
118	58,04	129,13	347,82	60,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	595,20	55,65	48,84	39,71	144,20
147,5	99,83	117,40	112,53	352,93	106,68	0,00	0,00	0,00	0,00	789,36	73,81	55,65	45,25	174,70
177	13,93	201,92	102,30	114,18	625,38	99,09	0,00	0,00	0,00	1156,80	108,16	73,81	60,01	241,98
206,5	69,65	28,17	175,96	103,80	202,33	580,87	49,55	0,00	0,00	1210,34	113,17	108,16	87,94	309,27
236	2,32	140,87	24,55	178,54	183,93	187,93	290,48	88,75	0,00	1097,39	102,61	113,17	92,01	307,78
265,5	0,00	4,70	122,76	24,91	316,37	170,85	93,98	520,26	68,09	1321,91	123,60	102,61	83,42	309,63
295	0,00	0,00	4,09	124,56	44,14	293,85	85,44	168,32	399,14	1119,55	104,68	123,60	100,49	328,77
324,5	0,00	0,00	0,00	4,15	220,72	41,00	146,95	153,02	129,13	694,98	64,98	104,68	85,11	254,77
354	0,00	0,00	0,00	0,00	7,36	205,01	20,50	263,19	117,40	613,46	57,36	64,98	52,83	175,17
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,83	102,52	36,72	201,92	348,00	32,54	57,36	46,63	136,53
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,42	183,62	28,17	215,21	20,12	32,54	26,45	79,12
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,12	140,87	146,99	13,74	20,12	16,36	50,23
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,70	4,70	0,44	13,74	11,17	25,36
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,36	0,80
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 26: Muskingum resultante Patron B-50 Años

PATRÓN B - 50 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQo	C1Qo1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	58,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,04	5,43	0,00	0,00	5,43
59	243,76	117,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	361,16	33,77	5,43	4,41	43,61
88,5	58,04	493,06	102,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	653,40	61,09	33,77	27,45	122,32
118	34,82	117,40	429,66	103,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	685,68	64,11	61,09	49,67	174,88
147,5	46,43	70,44	102,30	435,97	183,93	0,00	0,00	0,00	0,00	839,08	78,46	64,11	52,12	194,69
177	25,54	93,92	61,38	103,80	772,53	170,85	0,00	0,00	0,00	1228,01	114,82	78,46	63,78	257,06
206,5	116,08	51,65	81,84	62,28	183,93	717,55	85,44	0,00	0,00	1298,77	121,44	114,82	93,35	329,61
236	11,61	234,79	45,01	83,04	110,36	170,85	358,83	153,02	0,00	1167,51	109,16	121,44	98,73	329,33
265,5	0,00	23,48	204,60	45,67	147,15	102,51	85,44	642,68	117,40	1368,91	128,00	109,16	88,75	325,91
295	0,00	0,00	20,46	207,61	80,93	136,68	51,26	153,02	493,06	1143,01	106,87	128,00	104,06	338,93
324,5	0,00	0,00	0,00	20,76	367,87	75,17	68,35	91,81	117,40	741,36	69,32	106,87	86,89	263,08
354	0,00	0,00	0,00	0,00	36,79	341,69	37,59	122,41	70,44	608,92	56,94	69,32	56,36	182,61
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,17	170,87	67,33	93,92	366,29	34,25	56,94	46,29	137,47
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,09	306,04	51,65	374,78	35,04	34,25	27,84	97,14
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,60	234,79	265,39	24,81	35,04	28,49	88,35
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,48	23,48	2,20	24,81	20,17	47,18
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	1,78	3,98
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 27: Muskingum resultante Patron B-100 Años

PATRÓN B - 100 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQo	C1Qo1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	54,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54,56	5,10	0,00	0,00	5,10
59	226,35	110,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	336,70	31,48	5,10	4,15	40,73
88,5	52,23	457,84	96,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	606,24	56,68	31,48	25,59	113,76
118	46,43	105,66	398,97	97,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	648,63	60,65	56,68	46,08	163,42
147,5	73,13	93,92	92,07	404,83	172,90	0,00	0,00	0,00	0,00	836,85	78,25	60,65	49,31	188,20
177	21,47	147,92	81,84	93,42	717,35	160,59	0,00	0,00	0,00	1222,60	114,32	78,25	63,61	256,18
206,5	87,06	43,44	128,90	83,04	165,54	666,30	80,31	0,00	0,00	1254,58	117,31	114,32	92,94	324,56
236	0,58	176,09	37,85	130,79	147,15	153,76	333,20	143,84	0,00	1123,26	105,03	117,31	95,37	317,70
265,5	0,00	1,17	153,45	38,41	231,76	136,68	76,89	596,77	110,35	1345,48	125,81	105,03	85,39	316,22
295	0,00	0,00	1,02	155,70	68,06	215,27	68,35	137,72	457,84	1103,96	103,22	125,81	102,28	331,31
324,5	0,00	0,00	0,00	1,04	275,90	63,21	107,65	122,41	105,66	675,87	63,20	103,22	83,92	250,34
354	0,00	0,00	0,00	0,00	1,84	256,27	31,61	192,80	93,92	576,44	53,90	63,20	51,38	168,47
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,71	128,15	56,62	147,92	334,40	31,27	53,90	43,82	128,98
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,85	229,53	43,44	273,82	25,60	31,27	25,42	82,29
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,53	176,09	177,62	16,61	25,60	20,81	63,03
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17	1,17	0,11	16,61	13,50	30,22
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,09	0,20
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 28: Muskingum resultante Patron C-5 Años

PATRÓN C - 5 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQo	C1Qo1	C2Qs1	Qs
t (min)										m³/seg	m³/seg	m³/seg	m³/seg	m³/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	52,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,23	4,88	0,00	0,00	4,88
59	130,59	105,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	236,24	22,09	4,88	3,97	30,94
88,5	75,45	264,14	92,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	431,66	40,36	22,09	17,96	80,41
118	48,75	152,61	230,17	93,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	524,96	49,09	40,36	32,81	122,26
147,5	38,31	98,61	132,99	233,56	165,54	0,00	0,00	0,00	0,00	669,01	62,55	49,09	39,91	151,55
177	29,02	77,48	85,93	134,94	413,85	153,76	0,00	0,00	0,00	894,99	83,68	62,55	50,86	197,09
206,5	72,55	58,70	67,52	87,19	239,12	384,40	76,89	0,00	0,00	986,37	92,23	83,68	68,03	243,95
236	3,48	146,74	51,15	68,51	154,51	222,10	192,23	137,72	0,00	976,44	91,30	92,23	74,98	258,51
265,5	0,00	7,04	127,87	51,90	121,40	143,51	111,07	344,29	105,66	1012,74	94,69	91,30	74,23	260,22
295	0,00	0,00	6,14	129,75	91,97	112,76	71,77	198,92	264,14	875,45	81,86	94,69	76,99	253,54
324,5	0,00	0,00	0,00	6,23	229,92	85,42	56,39	128,54	152,61	659,11	61,63	81,86	66,55	210,03
354	0,00	0,00	0,00	0,00	11,04	213,56	42,72	100,99	98,61	466,91	43,66	61,63	50,10	155,39
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,25	106,80	76,51	77,48	271,04	25,34	43,66	35,49	104,49
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,13	191,27	58,70	255,10	23,85	25,34	20,60	69,80
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,18	146,74	155,92	14,58	23,85	19,39	57,82
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,04	7,04	0,66	14,58	11,85	27,09
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	0,54	1,19
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 29: Muskingum resultante Patron C-10 Años

PATRÓN C - 10 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQo	C1Qo1	C2Qs1	Qs
t (min)										m³/seg	m³/seg	m³/seg	m³/seg	m³/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	59,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59,78	5,59	0,00	0,00	5,59
59	162,51	120,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	283,42	26,50	5,59	4,54	36,63
88,5	81,25	328,71	105,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	515,33	48,18	26,50	21,55	96,23
118	34,82	164,35	286,44	106,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	592,53	55,40	48,18	39,17	142,76
147,5	37,72	70,44	143,22	290,65	189,45	0,00	0,00	0,00	0,00	731,48	68,40	55,40	45,04	168,84
177	21,47	76,31	61,38	145,32	515,02	175,97	0,00	0,00	0,00	995,47	93,08	68,40	55,61	217,08
206,5	69,65	43,44	66,49	62,28	257,51	478,37	88,00	0,00	0,00	1065,73	99,65	93,08	75,67	268,40
236	1,74	140,87	37,85	67,47	110,36	239,18	239,22	157,61	0,00	994,31	92,97	99,65	81,01	273,63
265,5	0,00	3,52	122,76	38,41	119,56	102,51	119,61	428,45	120,92	1055,73	98,71	92,97	75,58	267,27
295	0,00	0,00	3,07	124,56	68,06	111,05	51,26	214,23	328,71	900,93	84,24	98,71	80,25	263,21
324,5	0,00	0,00	0,00	3,11	220,72	63,21	55,53	91,81	164,35	598,75	55,98	84,24	68,49	208,71
354	0,00	0,00	0,00	0,00	5,52	205,01	31,61	99,46	70,44	412,04	38,53	55,98	45,51	140,03
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,13	102,52	56,62	76,31	240,57	22,49	38,53	31,32	92,34
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,56	183,62	43,44	229,62	21,47	22,49	18,29	62,25
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,59	140,87	145,46	13,60	21,47	17,46	52,53
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,52	3,52	0,33	13,60	11,06	24,99
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,27	0,60
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 30: Muskingum resultante Patron C-25 Años

PATRÓN C - 25 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQo	C1Qo1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	58,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,04	5,43	0,00	0,00	5,43
59	197,33	117,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	314,73	29,43	5,43	4,41	39,27
88,5	63,84	399,14	102,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	565,28	52,86	29,43	23,92	106,21
118	33,66	129,13	347,82	103,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	614,42	57,45	52,86	42,97	153,28
147,5	99,83	68,09	112,53	352,93	183,93	0,00	0,00	0,00	0,00	817,31	76,42	57,45	46,71	180,58
177	2,32	201,92	59,33	114,18	625,38	170,85	0,00	0,00	0,00	1173,98	109,77	76,42	62,13	248,32
206,5	69,65	4,70	175,96	60,21	202,33	580,87	85,44	0,00	0,00	1179,14	110,25	109,77	89,24	309,27
236	13,93	140,87	4,09	178,54	106,68	187,93	290,48	153,02	0,00	1075,55	100,57	110,25	89,63	300,45
265,5	0,00	28,17	122,76	4,15	316,37	99,09	93,98	520,26	117,40	1302,18	121,76	100,57	81,76	304,08
295	0,00	0,00	24,55	124,56	7,36	293,85	49,55	168,32	399,14	1067,34	99,80	121,76	98,99	320,54
324,5	0,00	0,00	0,00	24,91	220,72	6,83	146,95	88,75	129,13	617,30	57,72	99,80	81,14	238,65
354	0,00	0,00	0,00	0,00	44,14	205,01	3,42	263,19	68,09	583,86	54,59	57,72	46,93	159,24
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,00	102,52	6,12	201,92	351,57	32,87	54,59	44,38	131,85
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,50	183,62	4,70	208,82	19,53	32,87	26,73	79,12
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,72	140,87	177,60	16,61	19,53	15,87	52,01
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,17	28,17	2,63	16,61	13,50	32,74
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,63	2,14	4,78
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 31: Muskingum resultante Patron C-50 Años

PATRÓN C - 50 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQo	C1Qo1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	46,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,43	4,34	0,00	0,00	4,34
59	226,35	93,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	320,27	29,95	4,34	3,53	37,82
88,5	52,23	457,84	81,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	591,91	55,35	29,95	24,35	109,64
118	54,56	105,66	398,97	83,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	642,22	60,05	55,35	45,00	160,39
147,5	73,13	110,35	92,07	404,83	147,15	0,00	0,00	0,00	0,00	827,53	77,38	60,05	48,82	186,25
177	0,58	147,92	96,16	93,42	717,35	136,68	0,00	0,00	0,00	1192,11	111,46	77,38	62,91	251,75
206,5	87,06	1,17	128,90	97,58	165,54	666,30	68,35	0,00	0,00	1214,89	113,60	111,46	90,62	315,68
236	21,47	176,09	1,02	130,79	172,90	153,76	333,20	122,41	0,00	1111,66	103,94	113,60	92,35	309,89
265,5	0,00	43,44	153,45	1,04	231,76	160,59	76,89	596,77	93,92	1357,86	126,96	103,94	84,50	315,41
295	0,00	0,00	37,85	155,70	1,84	215,27	80,31	137,72	457,84	1086,53	101,59	126,96	103,22	331,78
324,5	0,00	0,00	0,00	38,41	275,90	1,71	107,65	143,84	105,66	673,16	62,94	101,59	82,59	247,13
354	0,00	0,00	0,00	0,00	68,06	256,27	0,85	192,80	110,35	628,33	58,75	62,94	51,17	172,86
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	63,21	128,15	1,53	147,92	340,82	31,87	58,75	47,76	138,38
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,61	229,53	1,17	262,31	24,53	31,87	25,91	82,30
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,62	176,09	232,71	21,76	24,53	19,94	66,23
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,44	43,44	4,06	21,76	17,69	43,51
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,06	3,30	7,36
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 32: Muskingum resultante Patron C-100 Años

PATRÓN C - 100 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQo	C1Qo1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	34,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,82	3,26	0,00	0,00	3,26
59	243,76	70,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	314,20	29,38	3,26	2,65	35,28
88,5	58,04	493,06	61,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	612,48	57,27	29,38	23,88	110,53
118	58,04	117,40	429,66	62,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	667,37	62,40	57,27	46,56	166,23
147,5	46,43	117,40	102,30	435,97	110,36	0,00	0,00	0,00	0,00	812,46	75,97	62,40	50,73	189,10
177	11,61	93,92	102,30	103,80	772,53	102,51	0,00	0,00	0,00	1186,66	110,96	75,97	61,76	248,68
206,5	116,08	23,48	81,84	103,80	183,93	717,55	51,26	0,00	0,00	1277,95	119,49	110,96	90,21	320,65
236	25,54	234,79	20,46	83,04	183,93	170,85	358,83	91,81	0,00	1169,25	109,33	119,49	97,15	325,96
265,5	0,00	51,65	204,60	20,76	147,15	170,85	85,44	642,68	70,44	1393,56	130,30	109,33	88,88	328,51
295	0,00	0,00	45,01	207,61	36,79	136,68	85,44	153,02	493,06	1157,60	108,24	130,30	105,93	344,47
324,5	0,00	0,00	0,00	45,67	367,87	34,17	68,35	153,02	117,40	786,47	73,54	108,24	88,00	269,77
354	0,00	0,00	0,00	0,00	80,93	341,69	17,09	122,41	117,40	679,52	63,54	73,54	59,79	196,86
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,17	170,87	30,60	93,92	370,56	34,65	63,54	51,65	149,84
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,59	306,04	23,48	367,11	34,33	34,65	28,17	97,14
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,33	234,79	302,12	28,25	34,33	27,91	90,48
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51,65	51,65	4,83	28,25	22,97	56,04
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,83	3,93	8,76
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 33: Muskingum resultante Patron D-5 Años

PATRÓN D - 5 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQo	C1Qo1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	48,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,75	4,56	0,00	0,00	4,56
59	75,45	98,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	174,06	16,28	4,56	3,71	24,54
88,5	130,59	152,61	85,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	369,13	34,51	16,28	13,23	64,02
118	52,23	264,14	132,99	87,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	536,56	50,17	34,51	28,06	112,74
147,5	38,31	105,66	230,17	134,94	154,51	0,00	0,00	0,00	0,00	663,58	62,05	50,17	40,79	153,00
177	29,02	77,48	92,07	233,56	239,12	143,51	0,00	0,00	0,00	814,75	76,18	62,05	50,44	188,67
206,5	72,55	58,70	67,52	93,42	413,85	222,10	71,77	0,00	0,00	999,91	93,49	76,18	61,94	231,61
236	3,48	146,74	51,15	68,51	165,54	384,40	111,07	128,54	0,00	1059,43	99,06	93,49	76,01	268,56
265,5	0,00	7,04	127,87	51,90	121,40	153,76	192,23	198,92	98,61	951,75	88,99	99,06	80,53	268,58
295	0,00	0,00	6,14	129,75	91,97	112,76	76,89	344,29	152,61	914,41	85,50	88,99	72,35	246,84
324,5	0,00	0,00	0,00	6,23	229,92	85,42	56,39	137,72	264,14	779,81	72,91	85,50	69,51	227,93
354	0,00	0,00	0,00	0,00	11,04	213,56	42,72	100,99	105,66	473,96	44,32	72,91	59,28	176,51
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,25	106,80	76,51	77,48	271,04	25,34	44,32	36,03	105,69
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,13	191,27	58,70	255,10	23,85	25,34	20,60	69,80
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,18	146,74	155,92	14,58	23,85	19,39	57,82
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,04	7,04	0,66	14,58	11,85	27,09
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	0,54	1,19
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 34: Muskingum resultante Patron D-10 Años

PATRÓN D - 10 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQo	C1Qo1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	34,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,82	3,26	0,00	0,00	3,26
59	81,25	70,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	151,69	14,18	3,26	2,65	20,09
88,5	162,51	164,35	61,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	388,24	36,30	14,18	11,53	62,02
118	59,78	328,71	143,22	62,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	593,99	55,54	36,30	29,51	121,35
147,5	37,72	120,92	286,44	145,32	110,36	0,00	0,00	0,00	0,00	700,77	65,52	55,54	45,15	166,22
177	21,47	76,31	105,37	290,65	257,51	102,51	0,00	0,00	0,00	853,81	79,83	65,52	53,27	198,63
206,5	69,65	43,44	66,49	106,92	515,02	239,18	51,26	0,00	0,00	1091,96	102,10	79,83	64,90	246,84
236	1,74	140,87	37,85	67,47	189,45	478,37	119,61	91,81	0,00	1127,18	105,39	102,10	83,01	290,50
265,5	0,00	3,52	122,76	38,41	119,56	175,97	239,22	214,23	70,44	984,10	92,02	105,39	85,68	283,09
295	0,00	0,00	3,07	124,56	68,06	111,05	88,00	428,45	164,35	987,54	92,34	92,02	74,81	259,16
324,5	0,00	0,00	0,00	3,11	220,72	63,21	55,53	157,61	328,71	828,90	77,50	92,34	75,07	244,91
354	0,00	0,00	0,00	0,00	5,52	205,01	31,61	99,46	120,92	462,52	43,25	77,50	63,01	183,76
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,13	102,52	56,62	76,31	240,57	22,49	43,25	35,16	100,90
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,56	183,62	43,44	229,62	21,47	22,49	18,29	62,25
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,59	140,87	145,46	13,60	21,47	17,46	52,53
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,52	3,52	0,33	13,60	11,06	24,99
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,27	0,60
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 35: Muskingum resultante Patron D-25 Años

PATRÓN D - 25 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQo	C1Qo1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	33,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,66	3,15	0,00	0,00	3,15
59	63,84	68,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	131,93	12,34	3,15	2,56	18,04
88,5	197,33	129,13	59,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	385,80	36,07	12,34	10,03	58,44
118	58,04	399,14	112,53	60,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	629,92	58,90	36,07	29,33	124,30
147,5	99,83	117,40	347,82	114,18	106,68	0,00	0,00	0,00	0,00	785,91	73,48	58,90	47,88	180,27
177	2,32	201,92	102,30	352,93	202,33	99,09	0,00	0,00	0,00	960,89	89,85	73,48	59,74	223,07
206,5	69,65	4,70	175,96	103,80	625,38	187,93	49,55	0,00	0,00	1216,96	113,79	89,85	73,04	276,68
236	13,93	140,87	4,09	178,54	183,93	580,87	93,98	88,75	0,00	1284,98	120,15	113,79	92,51	326,45
265,5	0,00	28,17	122,76	4,15	316,37	170,85	290,48	168,32	68,09	1169,19	109,32	120,15	97,68	327,15
295	0,00	0,00	24,55	124,56	7,36	293,85	85,44	520,26	129,13	1185,16	110,82	109,32	88,88	309,02
324,5	0,00	0,00	0,00	24,91	220,72	6,83	146,95	153,02	399,14	951,58	88,97	110,82	90,09	289,88
354	0,00	0,00	0,00	0,00	44,14	205,01	3,42	263,19	117,40	633,16	59,20	88,97	72,34	220,51
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,00	102,52	6,12	201,92	351,57	32,87	59,20	48,13	140,21
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,50	183,62	4,70	208,82	19,53	32,87	26,73	79,12
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,72	140,87	177,60	16,61	19,53	15,87	52,01
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,17	28,17	2,63	16,61	13,50	32,74
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,63	2,14	4,78
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 36: Muskingum resultante Patron D-50 Años

PATRÓN D - 50 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQo	C1Qo1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	54,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54,56	5,10	0,00	0,00	5,10
59	52,23	110,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	162,59	15,20	5,10	4,15	24,45
88,5	226,35	105,66	96,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	428,17	40,03	15,20	12,36	67,60
118	46,43	457,84	92,07	97,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	693,92	64,88	40,03	32,55	137,47
147,5	73,13	93,92	398,97	93,42	172,90	0,00	0,00	0,00	0,00	832,33	77,83	64,88	52,75	195,46
177	0,58	147,92	81,84	404,83	165,54	160,59	0,00	0,00	0,00	961,31	89,88	77,83	63,27	230,98
206,5	87,06	1,17	128,90	83,04	717,35	153,76	80,31	0,00	0,00	1251,59	117,03	89,88	73,08	279,99
236	21,47	176,09	1,02	130,79	147,15	666,30	76,89	143,84	0,00	1363,56	127,50	117,03	95,14	339,66
265,5	0,00	43,44	153,45	1,04	231,76	136,68	333,20	137,72	110,35	1147,63	107,31	127,50	103,65	338,46
295	0,00	0,00	37,85	155,70	1,84	215,27	68,35	596,77	105,66	1181,44	110,47	107,31	87,24	305,01
324,5	0,00	0,00	0,00	38,41	275,90	1,71	107,65	122,41	457,84	1003,92	93,87	110,47	89,81	294,15
354	0,00	0,00	0,00	0,00	68,06	256,27	0,85	192,80	93,92	611,90	57,21	93,87	76,32	227,40
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	63,21	128,15	1,53	147,92	340,82	31,87	57,21	46,51	135,60
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,61	229,53	1,17	262,31	24,53	31,87	25,91	82,30
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,62	176,09	232,71	21,76	24,53	19,94	66,23
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,44	43,44	4,06	21,76	17,69	43,51
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,06	3,30	7,36
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Tabla 37: Muskingum resultante Patron D-100 Años

PATRÓN D - 100 AÑOS														
AREA N°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	Qo	CoQo	C1Qo1	C2Qs1	Qs
t (min)										m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,5	58,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,04	5,43	0,00	0,00	5,43
59	58,04	117,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	175,43	16,40	5,43	4,41	26,24
88,5	243,76	117,40	102,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	463,46	43,33	16,40	13,34	73,07
118	34,82	493,06	102,30	103,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	733,99	68,63	43,33	35,23	147,19
147,5	46,43	70,44	429,66	103,80	183,93	0,00	0,00	0,00	0,00	834,26	78,01	68,63	55,80	202,43
177	11,61	93,92	61,38	435,97	183,93	170,85	0,00	0,00	0,00	957,66	89,54	78,01	63,42	230,97
206,5	116,08	23,48	81,84	62,28	772,53	170,85	85,44	0,00	0,00	1312,49	122,72	89,54	72,80	285,06
236	25,54	234,79	20,46	83,04	110,36	717,55	85,44	153,02	0,00	1430,20	133,73	122,72	99,77	356,22
265,5	0,00	51,65	204,60	20,76	147,15	102,51	358,83	153,02	117,40	1155,91	108,08	133,73	108,72	350,53
295	0,00	0,00	45,01	207,61	36,79	136,68	51,26	642,68	117,40	1237,42	115,70	108,08	87,87	311,65
324,5	0,00	0,00	0,00	45,67	367,87	34,17	68,35	91,81	493,06	1100,93	102,94	115,70	94,06	312,71
354	0,00	0,00	0,00	0,00	80,93	341,69	17,09	122,41	70,44	632,56	59,15	102,94	83,69	245,78
383,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,17	170,87	30,60	93,92	370,56	34,65	59,15	48,09	141,88
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,59	306,04	23,48	367,11	34,33	34,65	28,17	97,14
442,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,33	234,79	302,12	28,25	34,33	27,91	90,48
472	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51,65	51,65	4,83	28,25	22,97	56,04
501,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,83	3,93	8,76
531	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Luego de la aplicación de el metodo de muskingum para la obtencion del caudal que aporta la cuenca, se culminó el calculo y asi mismo el objetivo de la fase con la obtencion de los hidrogramas referenetes a los distintos patrones evaluados según los periodos de retorno, lo cuales se orbservan desde la figura 29 hasta la figura 48.

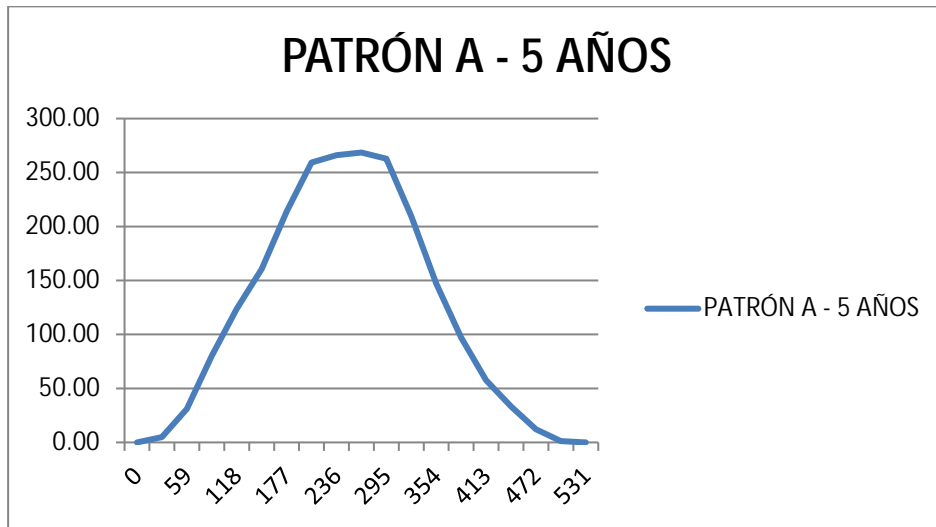


Figura 29: Hidrograma resultante Patron A-5 Años

Fuente: Fuente: Cupen & Hernández , 2017

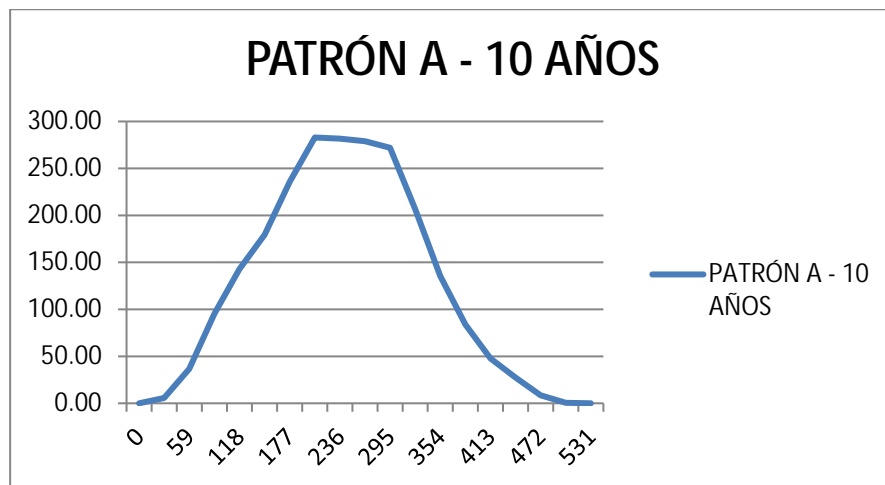


Figura 30: Hidrograma resultante Patron A-10 Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

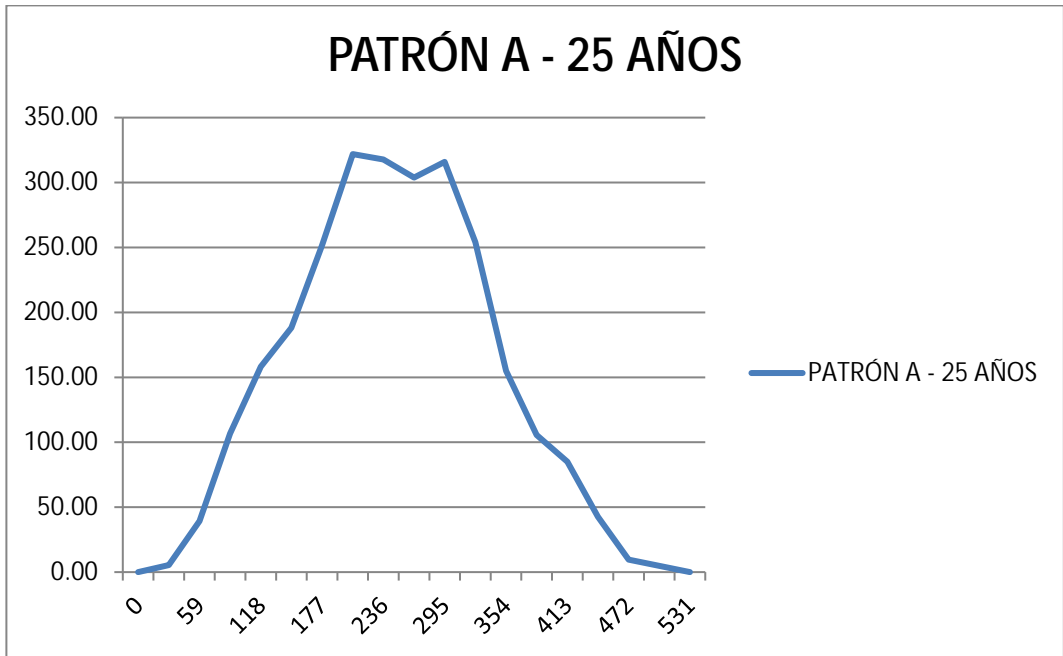


Figura 31: Hidrograma resultante Patron A-25 Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

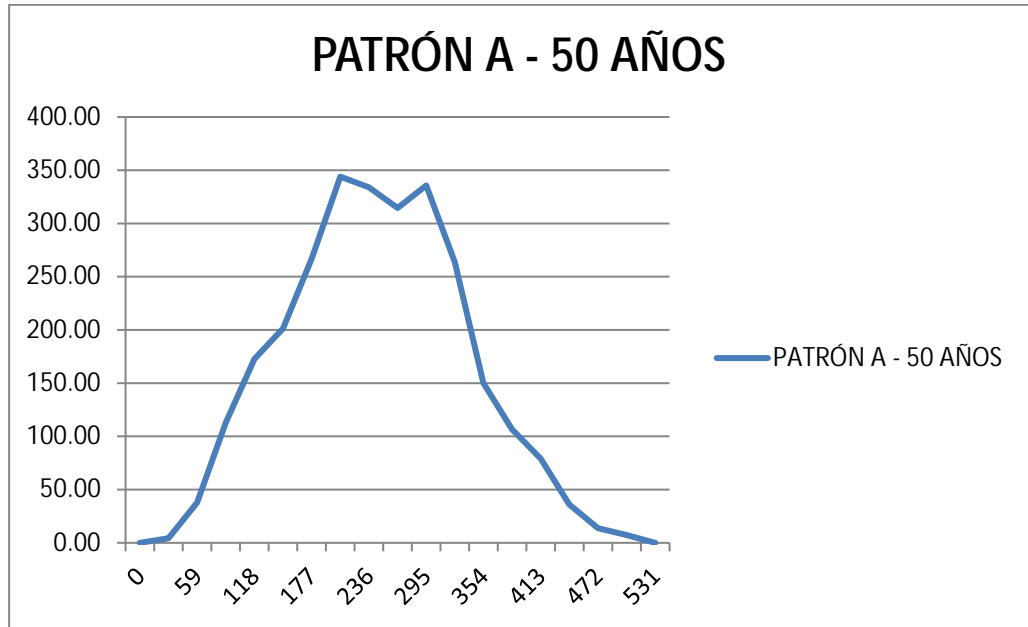


Figura 32: Hidrograma resultante Patron A-50 Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

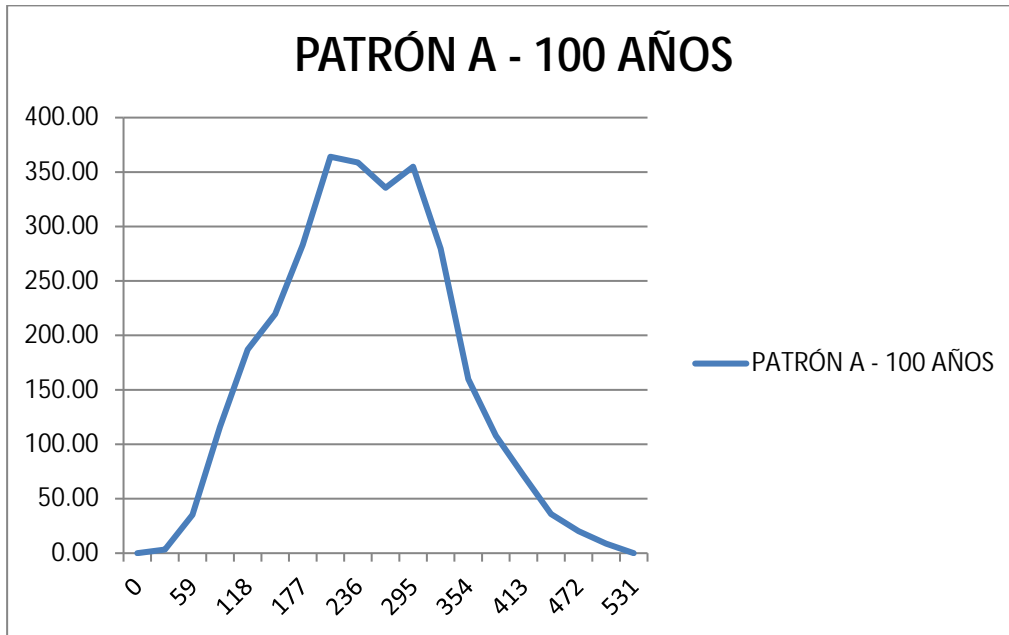


Figura 33: Hidrograma resultante Patron A-100 Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

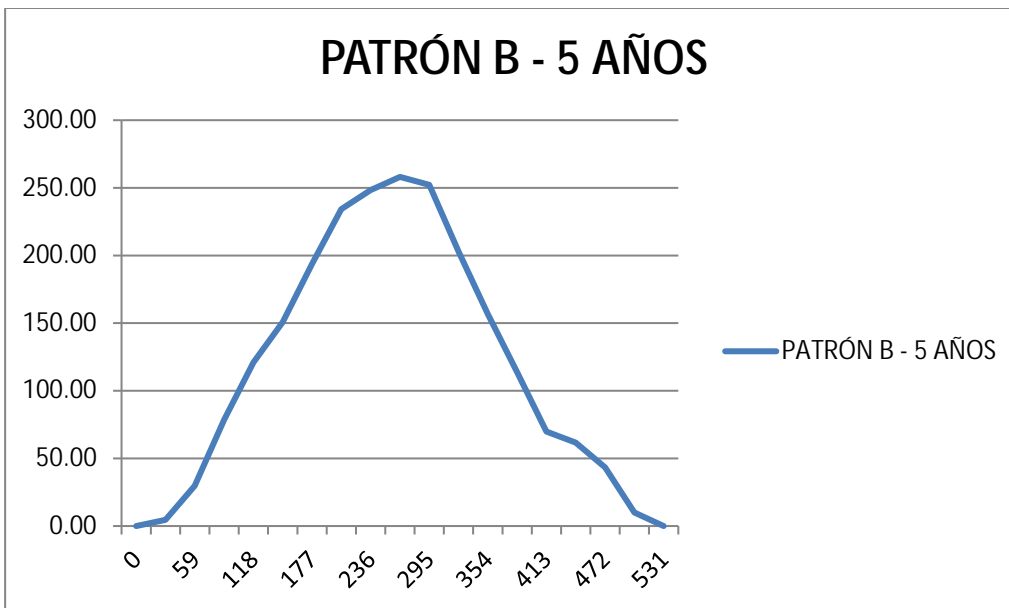


Figura 34: Hidrograma resultante Patron B-5 Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

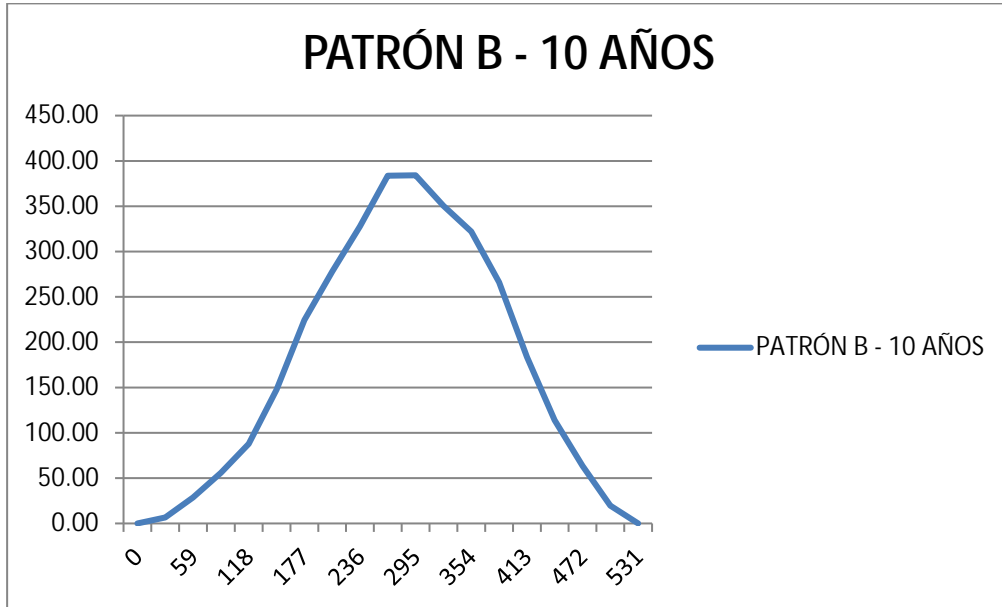


Figura 35: Hidrograma resultante Patron B-10 Años
Fuente: Cupen & Hernández , 2017

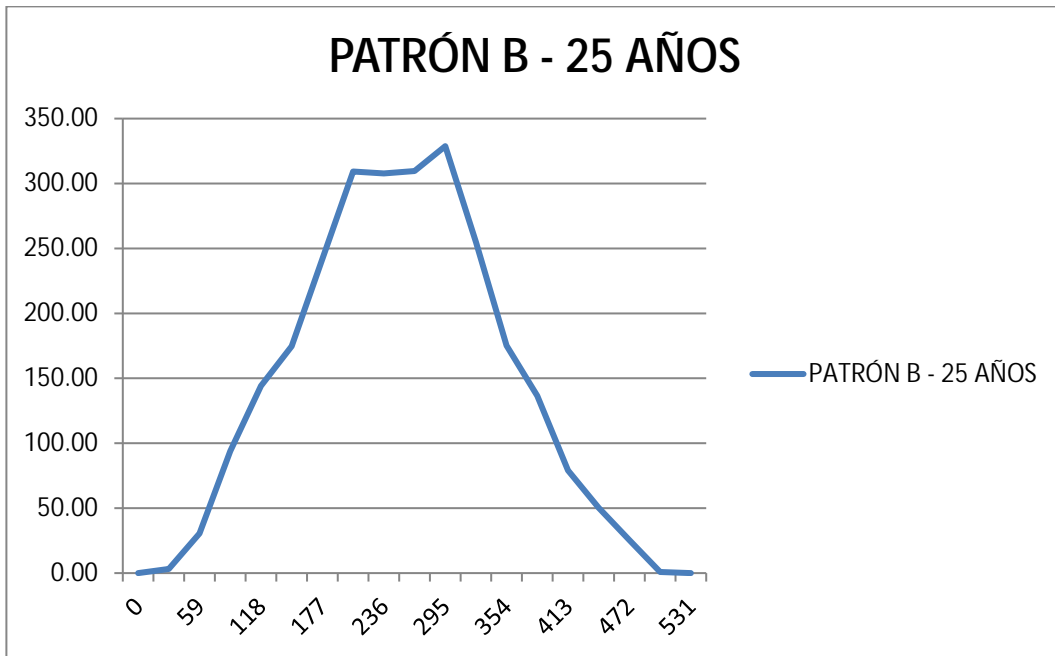


Figura 36: Hidrograma resultante Patron B-25 Años
Fuente: Cupen & Hernández , 2017

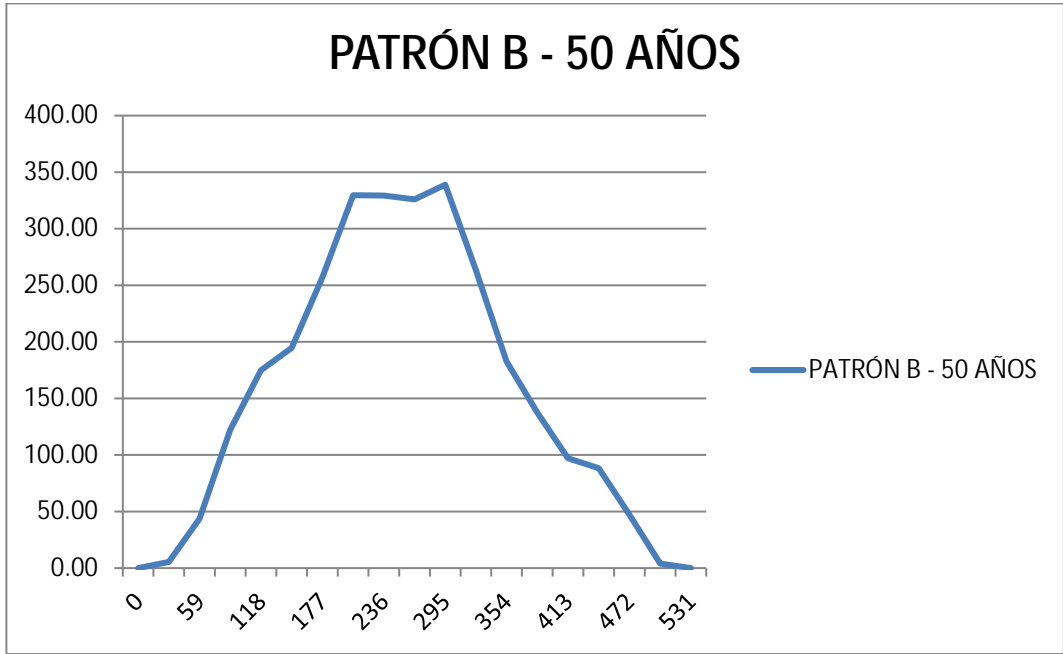


Figura 37: Hidrograma resultante Patron B-50 Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

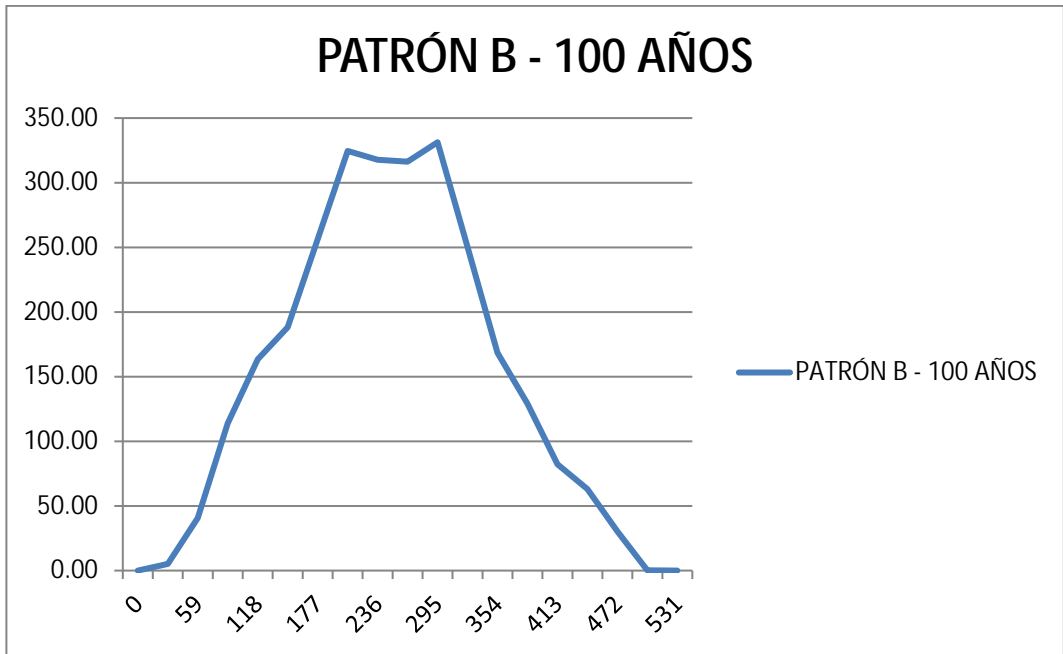


Figura 38: Hidrograma resultante Patron B-100 Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

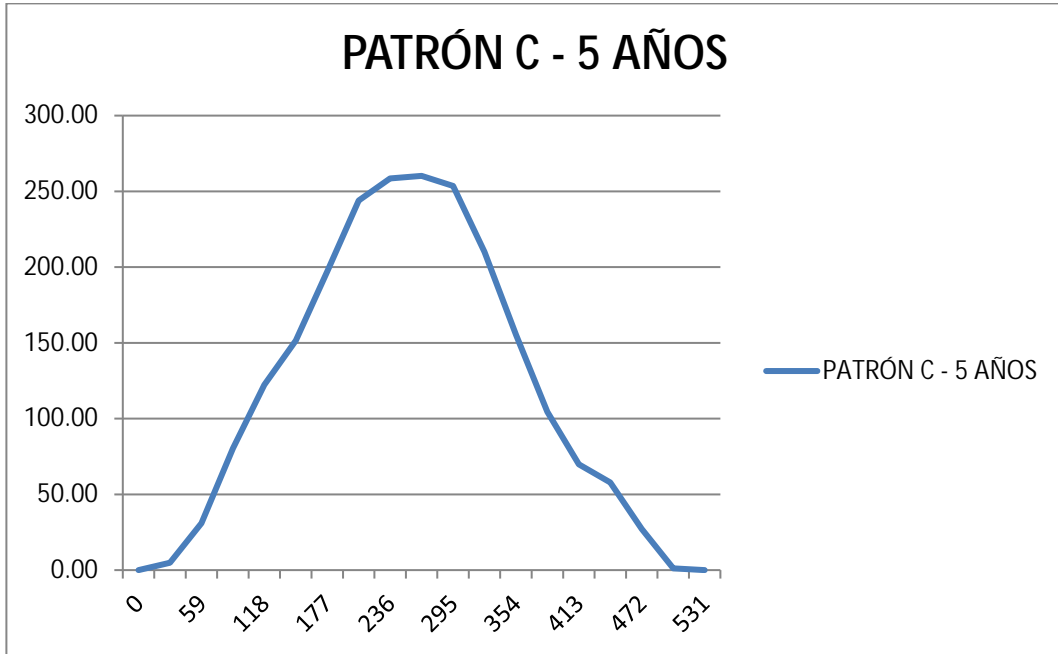


Figura 39: Hidrograma resultante Patron C-5Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

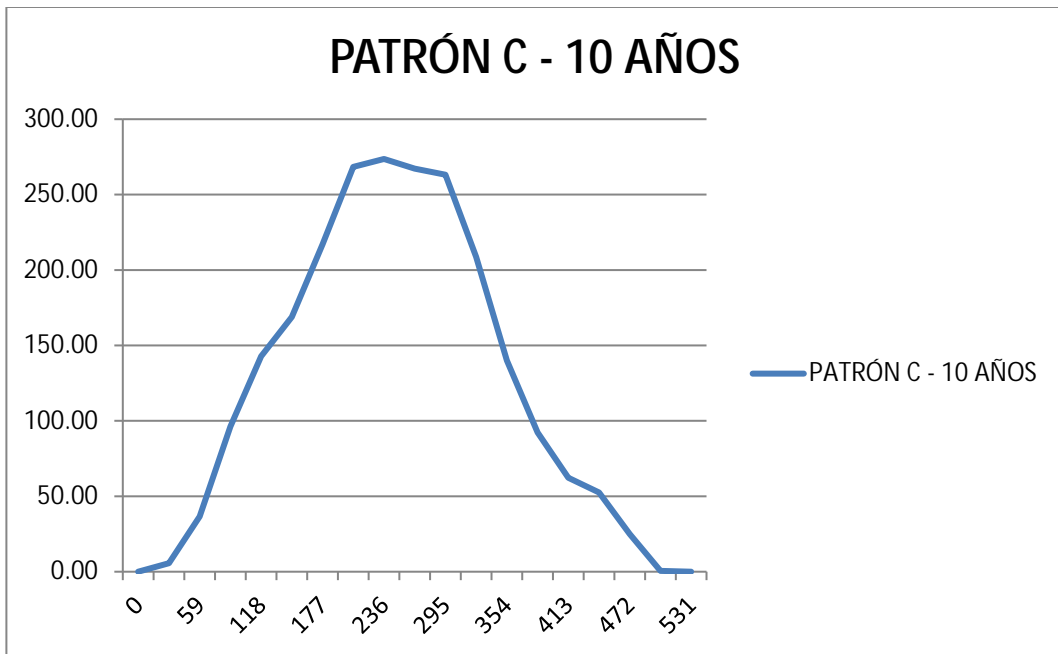


Figura 40: Hidrograma resultante Patron C-10 Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

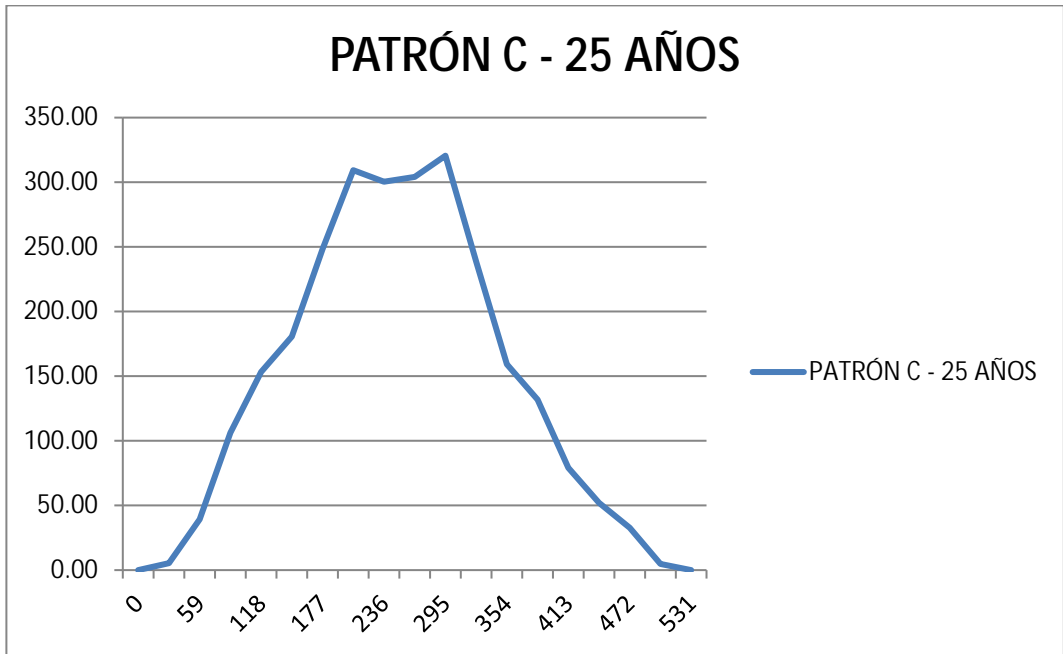


Figura 41: Hidrograma resultante Patrón C-25 Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

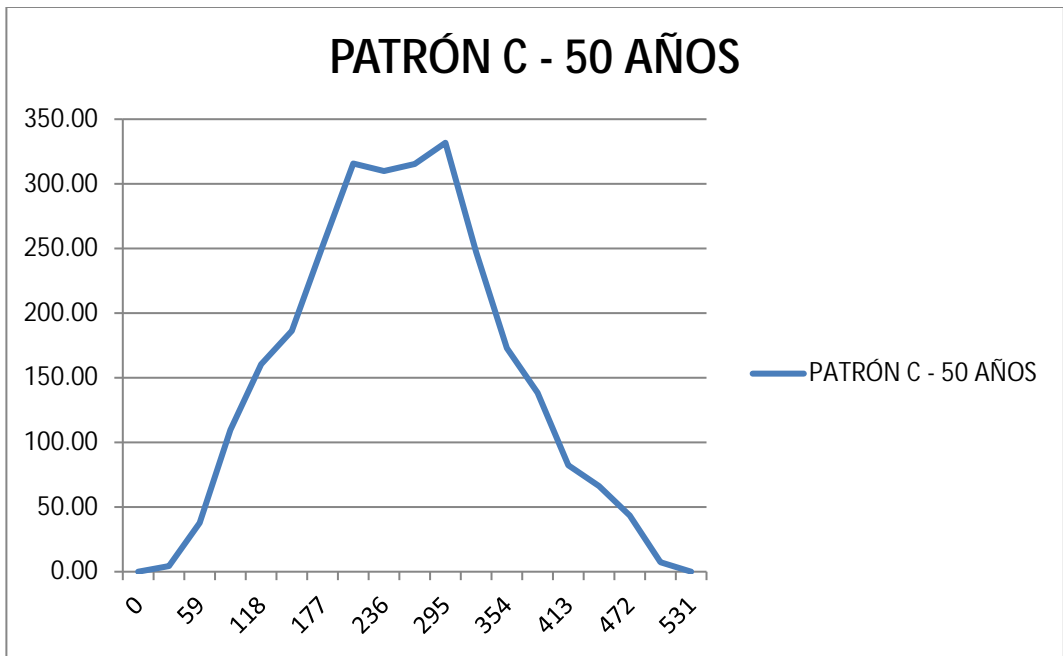


Figura 42: Hidrograma resultante Patrón C-50 Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

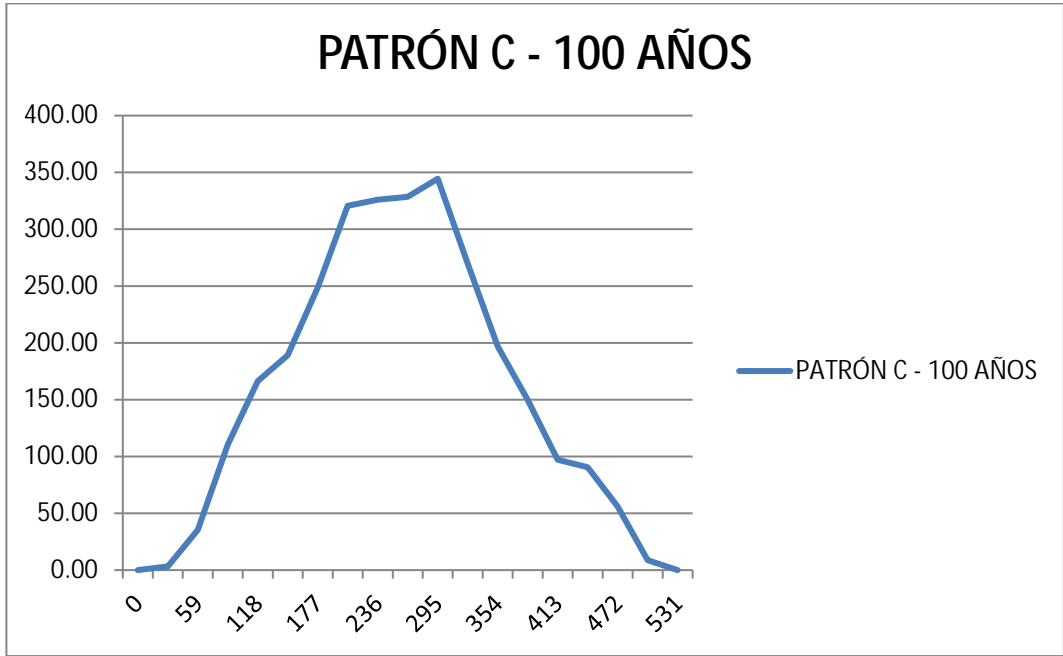


Figura 43: Hidrograma resultante Patron C-100 Años
Fuente: Cupen & Hernández , 2017.

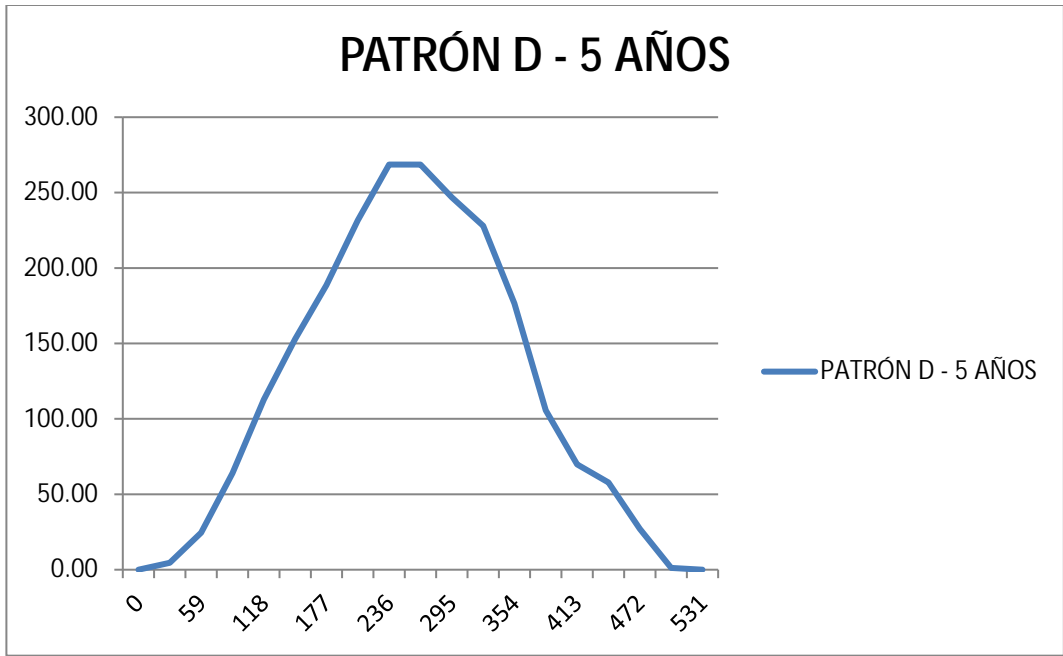


Figura 44: Hidrograma resultante Patron D-5Años
Fuente: Cupen & Hernández , 2017



Figura 45: Hidrograma resultante Patron D-10 Años
Fuente: Cupen & Hernández , 2017

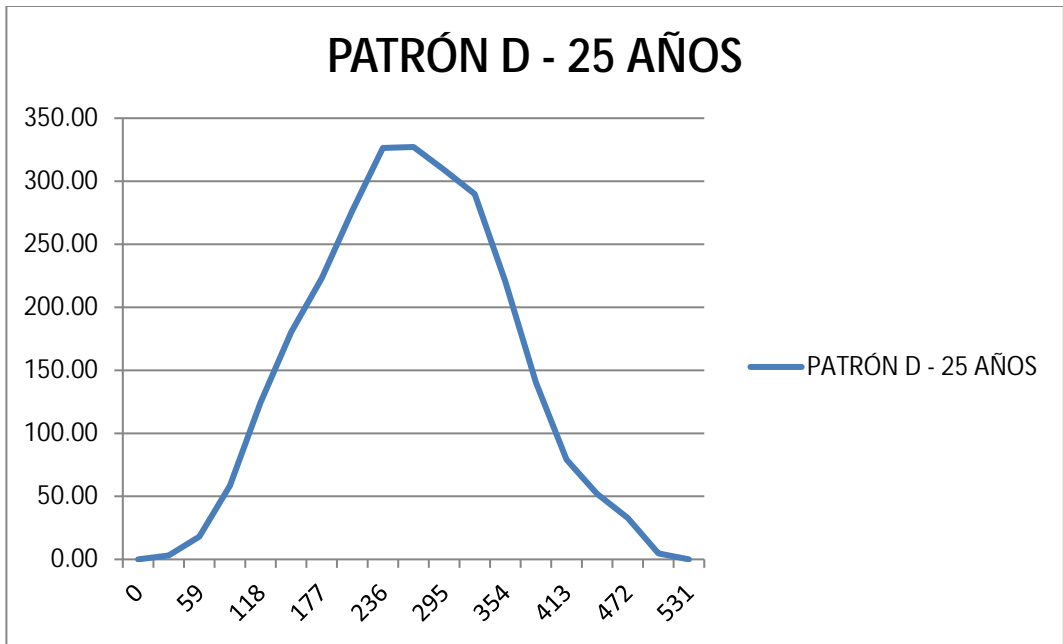


Figura 46: Hidrograma resultante Patron D-25 Años
Fuente: Cupen & Hernández , 2017

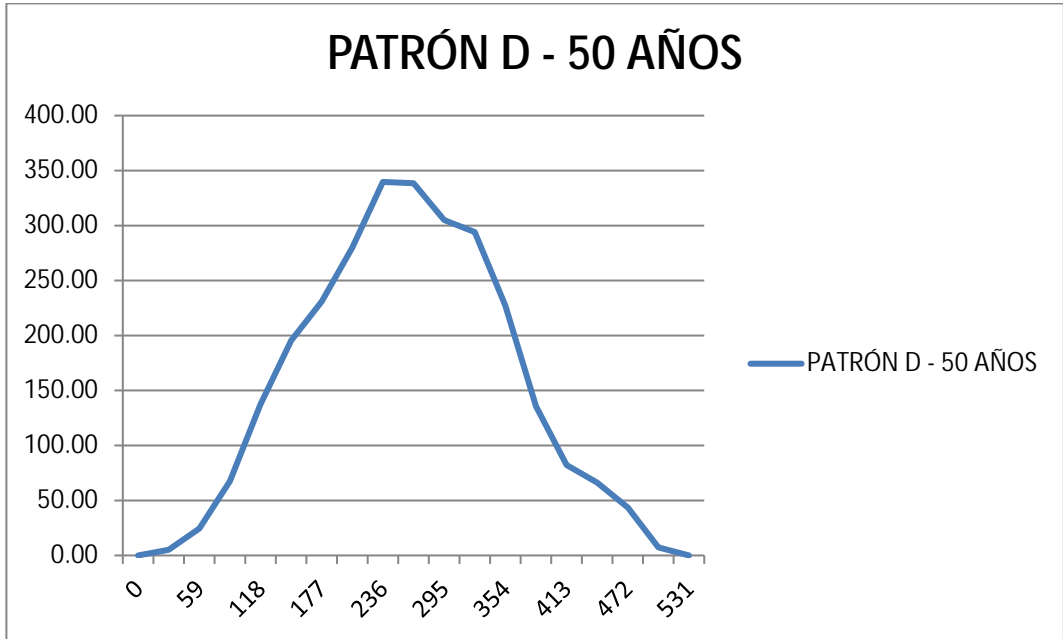


Figura 47: Hidrograma resultante Patron D-50 Años
Fuente: Cupen & Hernández , 2017

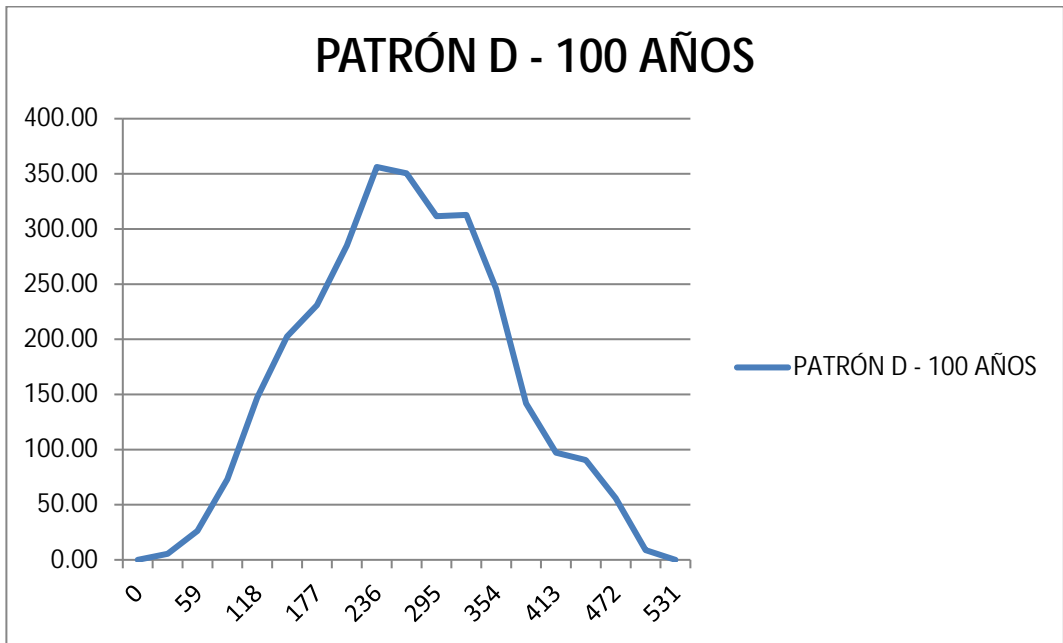


Figura 48: Hidrograma resultante Patron D-100 Años
Fuente: Cupen & Hernández , 2017

4.3 Investigar las propiedades y características de los suelos adyacentes al río Cúpira

En todo estudio de riesgo y vulnerabilidad a inundaciones de una cuenca, suelen resaltar principalmente las características que explican el comportamiento del río o cuenca, en este caso del río Cúpira, no obstante es de importancia considerar también las características de los suelos adyacentes al río para establecer un criterio apropiado para cualificar los niveles de riesgo y vulnerabilidad, adicionalmente el conocimiento de las características permiten una interpretación más concisa del comportamiento del río.

Es por ello que en el presente trabajo de investigación se tomó como referencia estudios de suelos de proyectos previos como el estudio de suelos del puente sobre el río Cúpira, sector valle de Oro, que revelo características fundamentales de los suelos, su perfil y composición. Adicionalmente también se tomaron las observaciones de las inspecciones del cuerpo de bomberos de San Diego en su informe de gestión de riesgo de inundación del río Cúpira donde detallaron las características, el estado del terreno y vegetación presentes en el río.

4.3.1 Resultados del Estudio de Suelos del puente sobre el río Cúpira sector Valle de Oro

Como resultado de los estudios de suelos se resaltó como relevante los perfiles litológicos resultantes de los estudios de suelos, que aporta características detalladas de los suelos, la ubicación del nivel freático, entre otros. Para ello a continuación se muestran las figuras 49,50,51

LOCALIZACIÓN GENERAL- SITUACIÓN RELATIVA

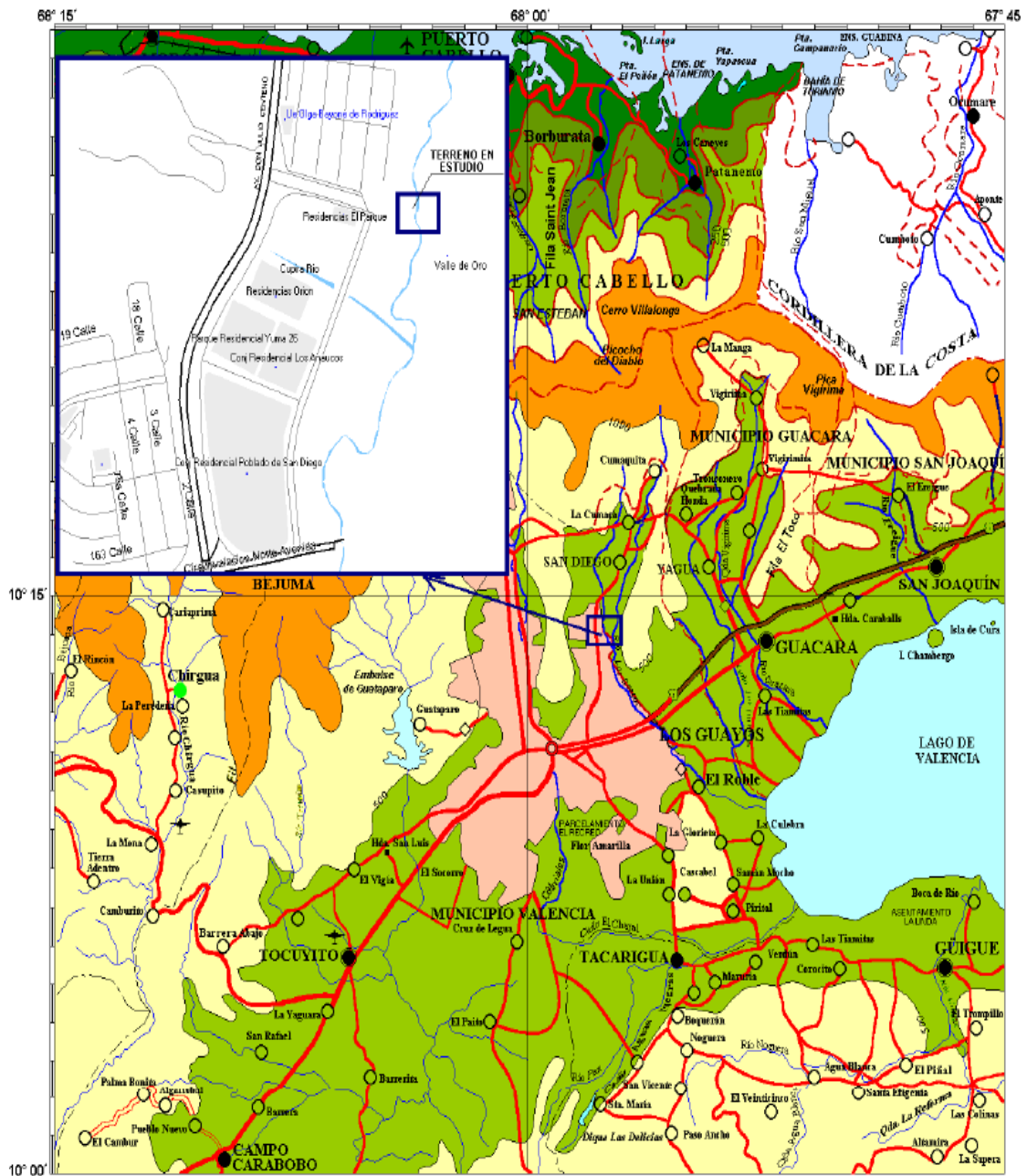


Figura 49: Ubicación del terreno en Estudio

Fuente: Ing. Aura Herminia Párraga M, 2010

SÍMBOLOS LITOLÓGICOS




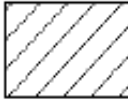

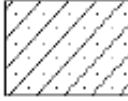

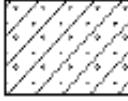






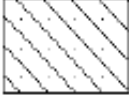

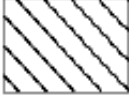
	Entremezcla de Relleno y Capa Vegetal-Arena limosa SM!		Limo plástico arenoso MLplást. are.
	Entremezcla de Relleno y Capa Vegetal-Arena arcillosa SC!		Arcilla CL
	Arena limosa SM		Arcilla arenosa CLare
	Arena limosa mal gradada SP-SM		Arcilla gravosa CL(G)
	Arena arcillosa SC		Arcilla areno-gravosa CL(G) are.
	Arena arcillo-gravosa SC(G)		Espesor de entremezcla de Relleno y Capa Vegetal
	Arena arcillosa muy gravosa SC(G+)		Aguas de Infiltración con caudal que varía de significativo a abundante
	Limo arenoso poco plástico MLare.		Nivel Freático
	Limo plástico MLplást		

Figura 50: Leyenda: símbolos litológicos

Fuente: Ing. Aura Herminia Párraga M, 2010

PERFILES LITOLÓGICOS PROBABLES DEL TERRENO

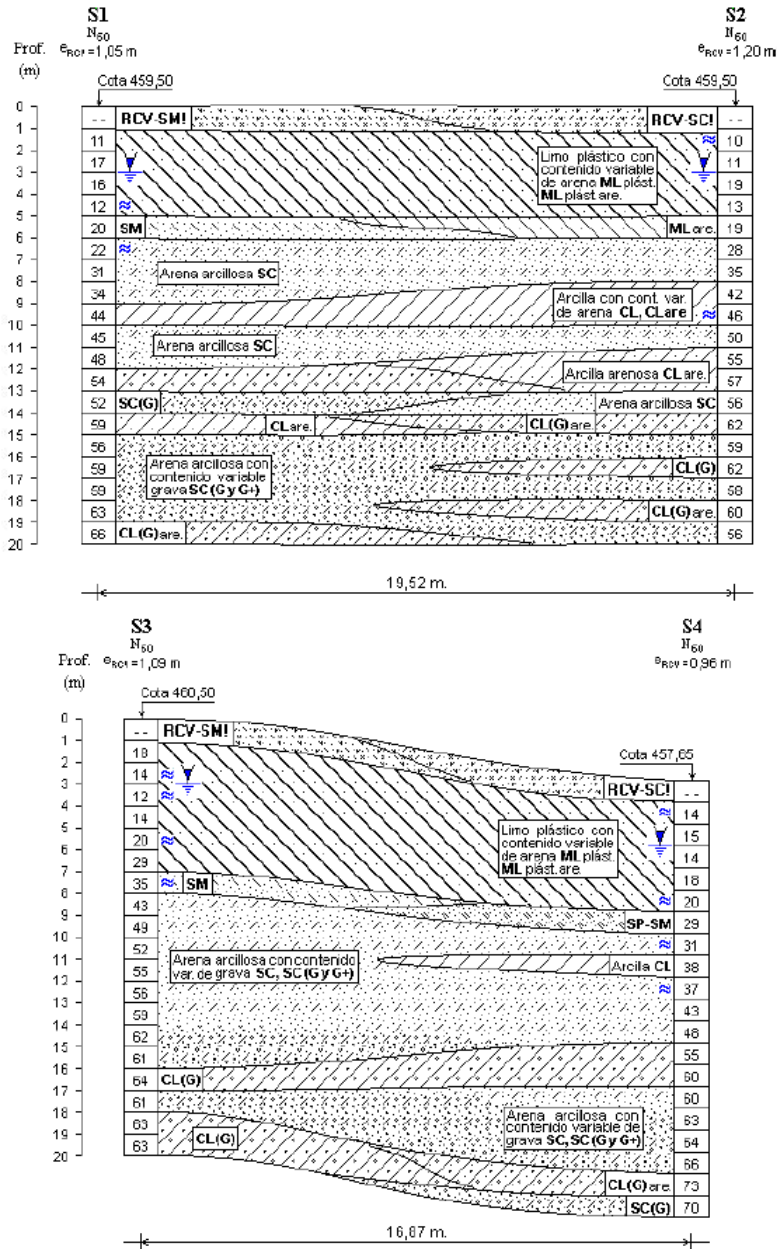


Figura 51: Perfiles litológicos probables del terreno

Fuente: Ing. Aura Herminia Párraga M, 2010

4.3.2 Resultados de los Estudios de suelos en distintas zonas de San Diego

Adicionalmente también se cuenta con la referencia de los estudios del subsuelo de San Diego y perfiles litológicos proporcionados por los estudios de suelos del trabajo de grado de Manuel Figueira y Tahimy Zuñiga, cuyos estudios fueron realizados en distintas zonas de san diego los cuales arrojaron características detalladas de los suelos.

Se propuso una división del municipio por sectores, para describir de forma más detallada el subsuelo, cubriendo todas las urbanizaciones y principales zonas, y así poder disponer en principio, de la información geotécnica suficiente para poder conocer la clasificación del suelo del municipio.

- **Sector 1:** el subsuelo del sector 1, ubicado al sur del municipio, está conformado casi completamente por una pequeña cuenca de depósitos aluvio-coluviales constituidos por suelos superficialmente arcillosos intercalados, aleatoriamente es extensión y profundidad con suelos de carácter granular del tipo arenas-limosas y con algunos horizontes gravosos de peñones cuarzo-esquistosos. Este sector abarca las zonas: Campo Solo, Los Cedros, 1ero de Mayo, Los Próceres, Colinas de San Diego, El Paraíso, Los Jarales, Paso Real, Laguna Villas, Castillito, Terrazas de Castillito, Parcelamiento Industrial Castillito, Castillete y Monzanguita.
- **Sector 2:** A lo largo del tramo comprendido por las urbanizaciones El morro I, Morro II, La esmeralda, el subsuelo está conformado aproximadamente por un metro de materia vegetal y luego un estrato de arena limosa con fragmentos de cuarzo, feldespatos y esquistos (SM) hasta profundidades representativas. Luego presenta una capa de suelos granulares cohesivos presentado en proporción variada, formados por arcillas arenosas. Estos suelos cohesivos son predominantes y se encuentran en los metros superiores, aunque disminuyen con la profundidad.

- Sector 3:** Corresponde a la zona norte del municipio, abarcando las urbanizaciones Montaserino, Parqueserino, El remanso, y alrededores de la autopista Guacara-Bárbula; esta zona presenta la siguiente litología del suelo: arena limosa con raíces, arena limosa arcillosa con grava y arena gravosa en los estratos superficiales, mientras que en los estratos más profundos se encuentra limo arcillo-gravoso con fragmentos de cuarzo y arena arcillosa con grava. El pueblo de San Diego y La Cumaca son zonas de grandes haciendas desde tiempos antiguos, razón por la cual abunda la vegetación, esto explica la presencia de una capa superficial compuesta principalmente por limos y arcillas orgánicas de aproximadamente un metro de espesor; y a profundidades mayores se presenta un estrato de arena limosa.
- Sector 4:** Corresponde a la zona montañosa del municipio San Diego, perteneciente a la cordillera de la costa, se encuentra hacia el norte del mismo y limita con los municipios Guacara, Naguanagua y puerto cabello. Esta zona está conformada principalmente por arcillosas y arenas con presencia de grava y estratos rocosos, las figuras 52,53,54,55, y 56 son los perfiles litológicos resultantes de los estudios de suelos realizados.



Figura 52: Perfil litológico N° 1

Fuente: Manuel Figueira y Tahimy Zuñiga, 2012

**PERFORACIONES ENTRE LA HACIENDA LA CARACARA
Y URBANIZACIÓN SANSUR**

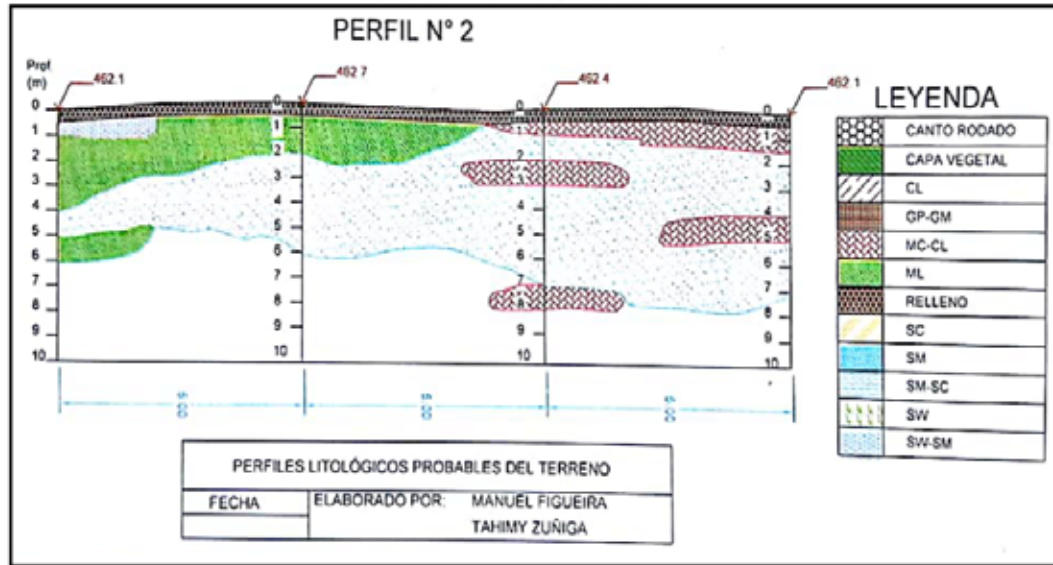


Figura 53: Perfil litológico N° 2
Fuente: Manuel Figueira y Tahimy Zuñiga, 2012

PERFORACIÓN EN URBANIZACIÓN YUMA II

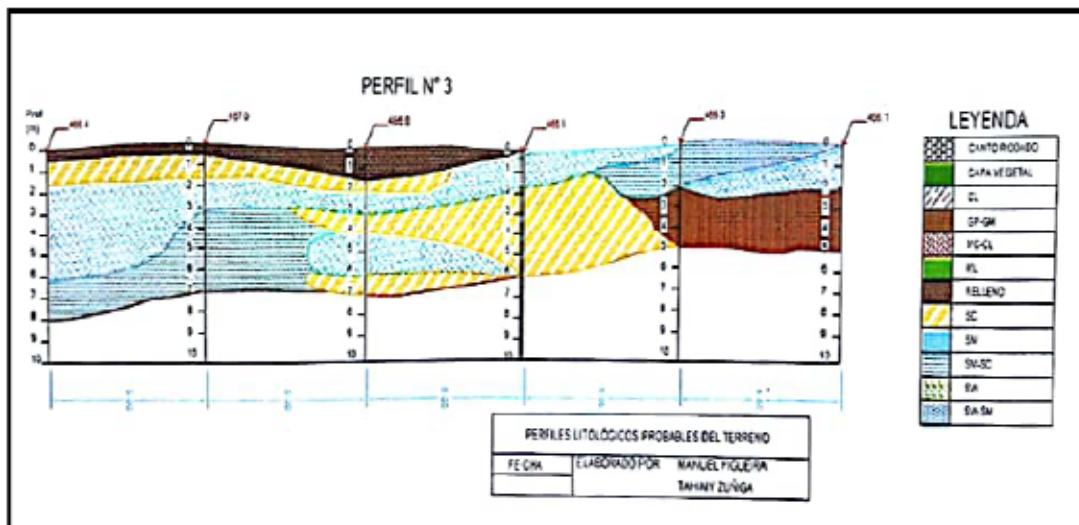


Figura 54: Perfil litológico N° 3
Fuente: Manuel Figueira y Tahimy Zuñiga, 2012

PERFORACIONES EN URBANIZACIÓN SANSUR

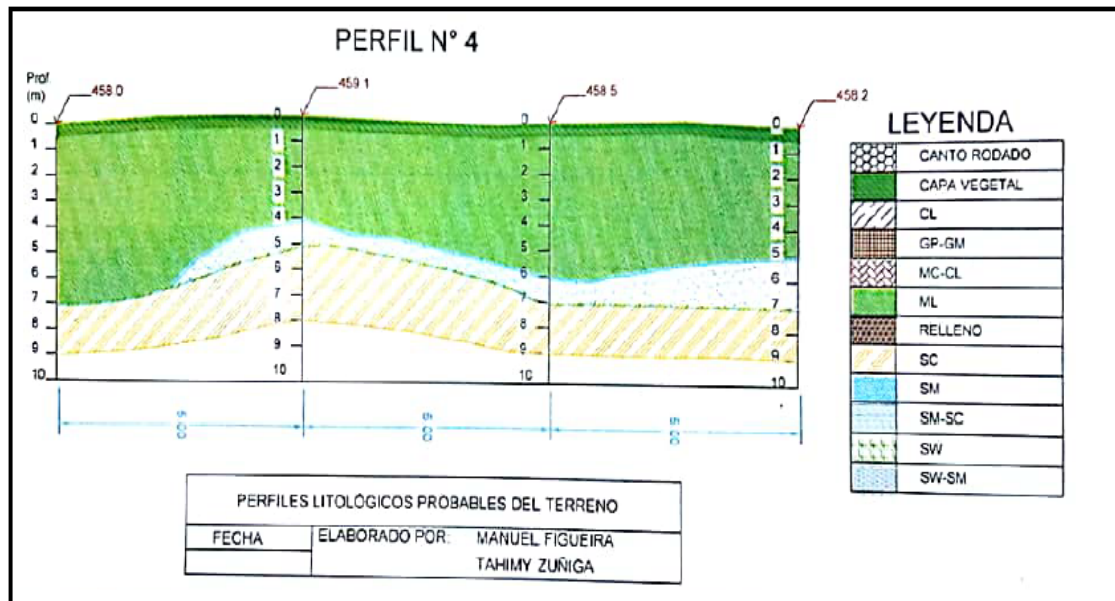


Figura 55: Perfil litológico N° 4
Fuente: Manuel Figueira y Tahimiy Zuñiga, 2012

PERFORACIONES EN URBANIZACIÓN LA ESMERALDA

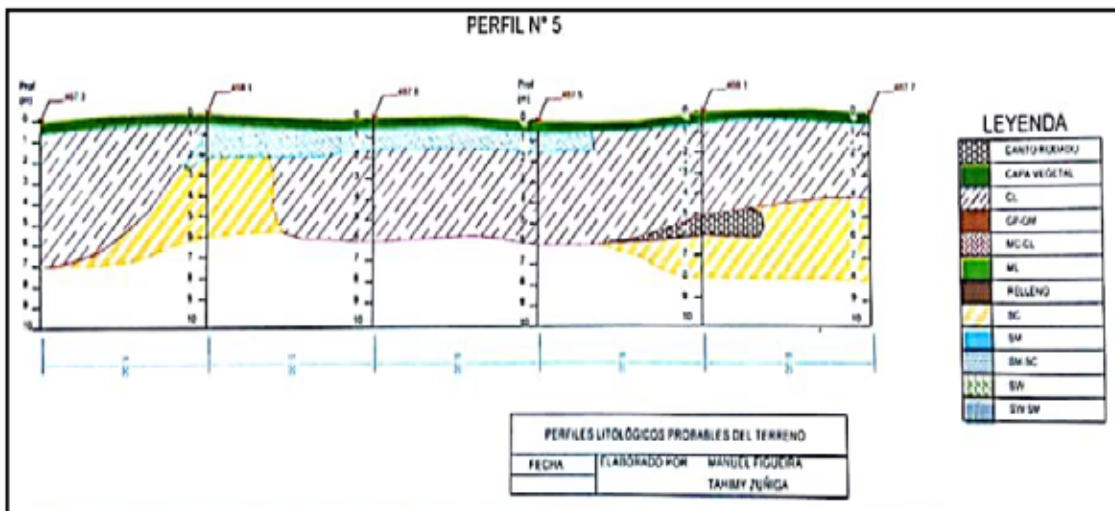


Figura 56: Perfil litológico N° 5
Fuente: Manuel Figueira y Tahimiy Zuñiga, 2012

El conocer los perfiles litológicos que abordan las características de los suelos donde se realizaron, sirvieron como aporte primario para la obtención de la permeabilidad de los suelos en función del tipo de suelo descubierto en los estudios previos, siguiendo a la figura que especifica la permeabilidad teórica que pueden presentar los suelos del municipio san Diego, con mayor relevancia en los suelos adyacentes al río Cúpira.

Permeabilidad relativa	Valores de K (cm/seg)	Suelo típico
Muy permeable	$> 1 * 10^{-1}$	Grava gruesa
Moderadamente permeable	$1 * 10^{-1}$ a $1 * 10^{-3}$	Arena, arena fina
Poco permeable	$1 * 10^{-3}$ a $1 * 10^{-5}$	Arena limosa, arena sucia
Muy poco permeable	$1 * 10^{-5}$ a $1 * 10^{-7}$	Limo y arenisca fina
Impermeable	$< 1 * 10^{-7}$	Arcilla

Figura 57: Coeficientes de permeabilidad (k)/ Tipo de suelo – permeabilidad

Fuente: Terzaghi K. y Peck R., 1980

4.4 Diseñar un mapa de riesgo de zonas inundables del tramo en estudio de la cuenca del río Cúpira del municipio San Diego

En las siguientes ilustraciones se muestra el desarrollo del presente trabajo de grado a través de los criterios y normas empleadas por el programa HEC-RAS versión 5.0.3, realizando una modelación hidráulica, la cual sirvió para simular todas las propiedades hidráulicas de la cuenca en estudio y a su vez evaluar el nivel de aguas obtenido en el cauce con el cual se establecieron las zonas inundables.

La estructura de datos para realizar una simulación hidráulica a través de HEC-RAS, consiste en una serie de pasos, los cuales, se van generando los archivos que definen tanto la geometría, como las condiciones de frontera del sistema hidráulico. En general los principales pasos son:

- Crear un nuevo proyecto.
- Ingresar datos geométricos.
- Ingresar datos del flujo y condiciones de frontera.

Ejecutar cálculos hidráulicos.

Ver y analizar resultados.

- **Crear un nuevo proyecto**

El primer paso para modelar un sistema hidráulico es crear un nuevo proyecto, donde primeramente se debe establecer el directorio en que se desee trabajar. Dicho esto, todos los demás pasos serán respaldados en este nuevo proyecto.

- **Ingresar datos geométricos.**

En la presente investigación se empleó una herramienta de trabajo del programa AutoCAD CIVIL 3D, conocida en inglés como “EXPORT TO HEC RAS” y en español “EXPORTAR AL HEC RAS” la cual sirve para cargar una superficie de un terreno hacia el HEC RAS, la cual es de mucha utilidad para facilitar cálculos, y a su vez estos dan con mayor exactitud.

La elaboración de la superficie a raíz de las curvas de nivel consiste en tomar dichas curvas del terreno del cauce por donde transita el río en estudio y crear una superficie del terreno entre ellas, a través de ciertas herramientas del AutoCAD CIVIL 3D. las respectivas curvas de nivel del tramo en estudio (ver figura 58)

Introducción de datos geométricos hacia HEC-RAS:

Al tener todos estos datos ya colocados en el AutoCAD CIVIL 3D, se procede a exportar la superficie hacia HEC-RAS, presionando la opción de “Output” en inglés o su traducción en español “Salida” y próximamente buscar la pestaña de “Export to HEC-RAS” en inglés o su traducción en español “Exportar to HEC-RAS”. Una vez hecho esto, se procede a introducir o cargar esta geometría (ver figura 59) a través de la opción “File” (Paso 1) de la barra principal de la ventana “Geometric Data”, luego presionar “Import Geometry Data” (Paso 2) y por último (Paso 3) presionar la opción de “GIS Format”, donde se busca la geometría guardada del programa AutoCAD CIVIL 3D.

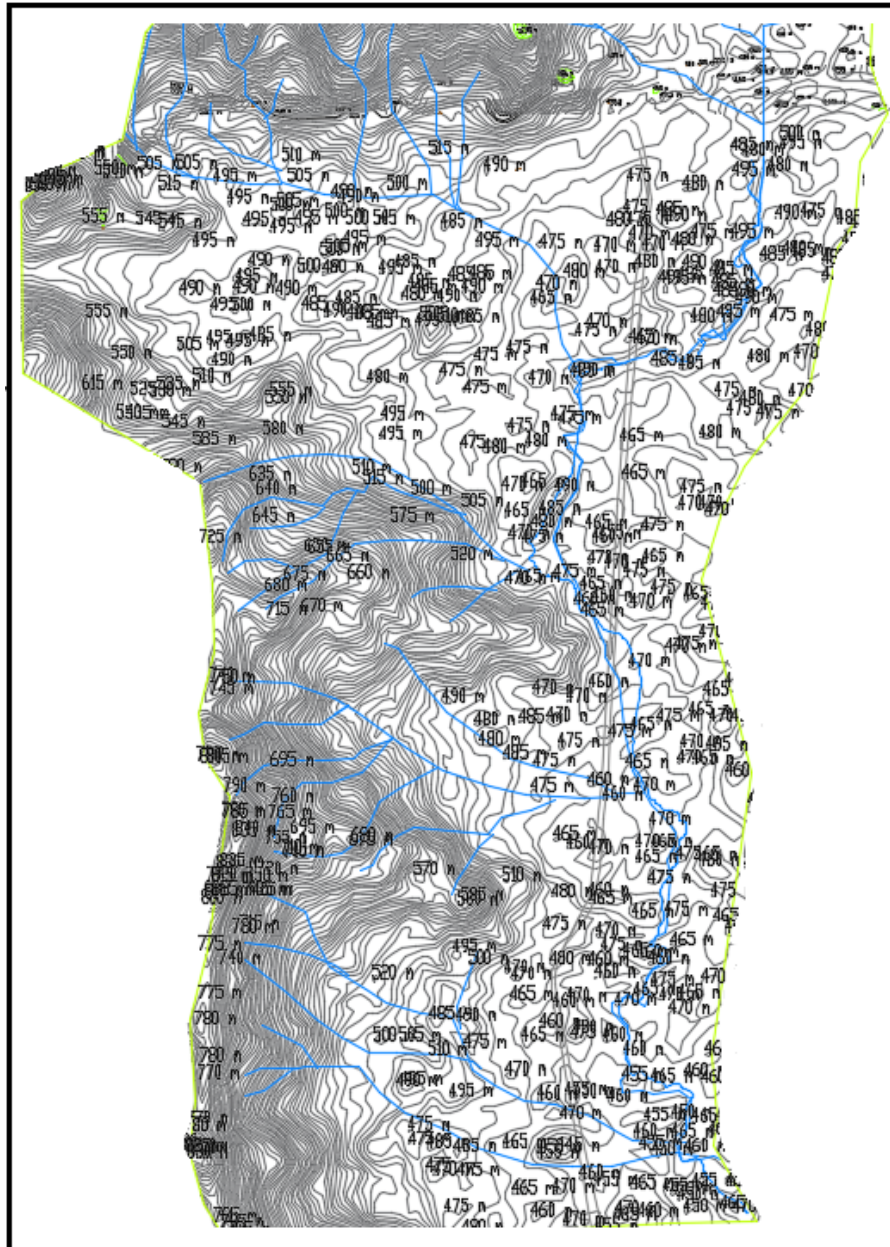


Figura 58: Curvas de nivel del tramo de estudio del río Cúpira
 Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Una vez hecho esto automáticamente se abrirá la sección vista desde un plano de planta, sin condiciones hidráulicas aun colocadas, luego en la figura 60 se

muestra el procedimiento para realizar la entrada de los valores del coeficiente de Manning, a través de la opción de “Tables” de la barra principal de la ventana “Geometric Data”, luego se procede a colocar los coeficientes de Manning a lo largo de todos los tramos (ver figura 61), el cual resultado 0,03 en el estudio hidráulico por todas las características del cauce.

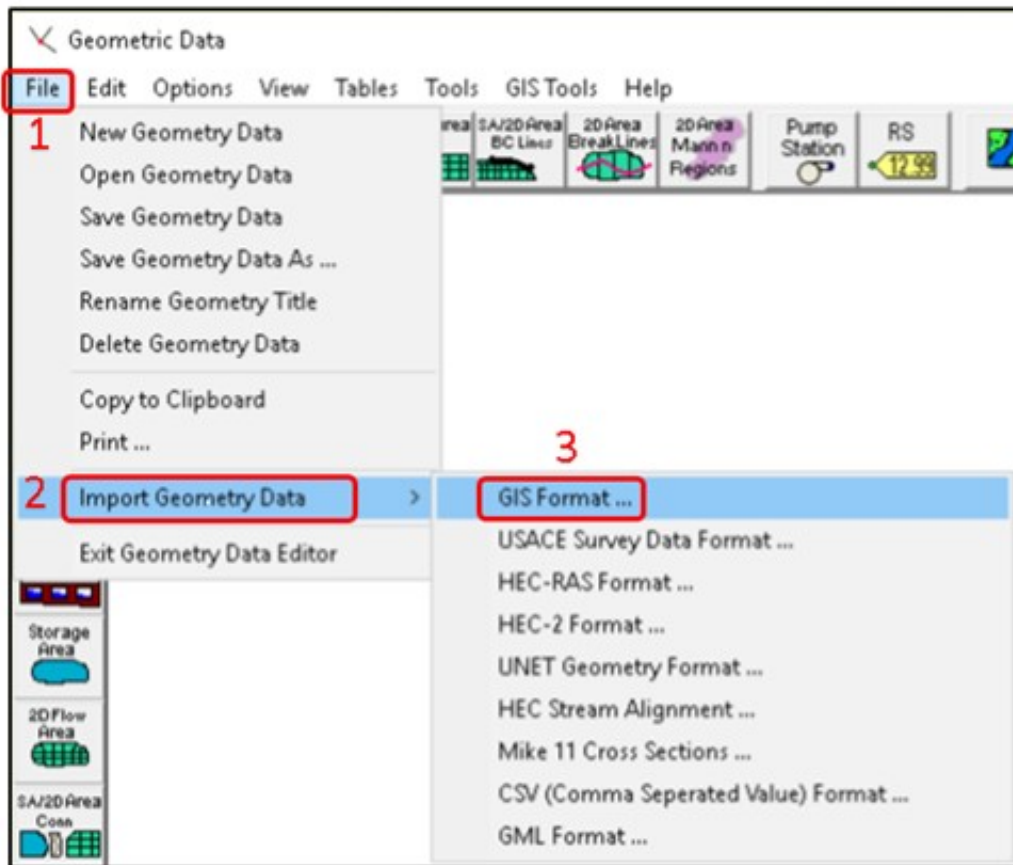


Figura 59: Abrir formato de AutoCAD Civil 3D

Fuente: Cupen & Hernández , 2017



Figura 60: Ventana de introducción del coeficiente de Manning.

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

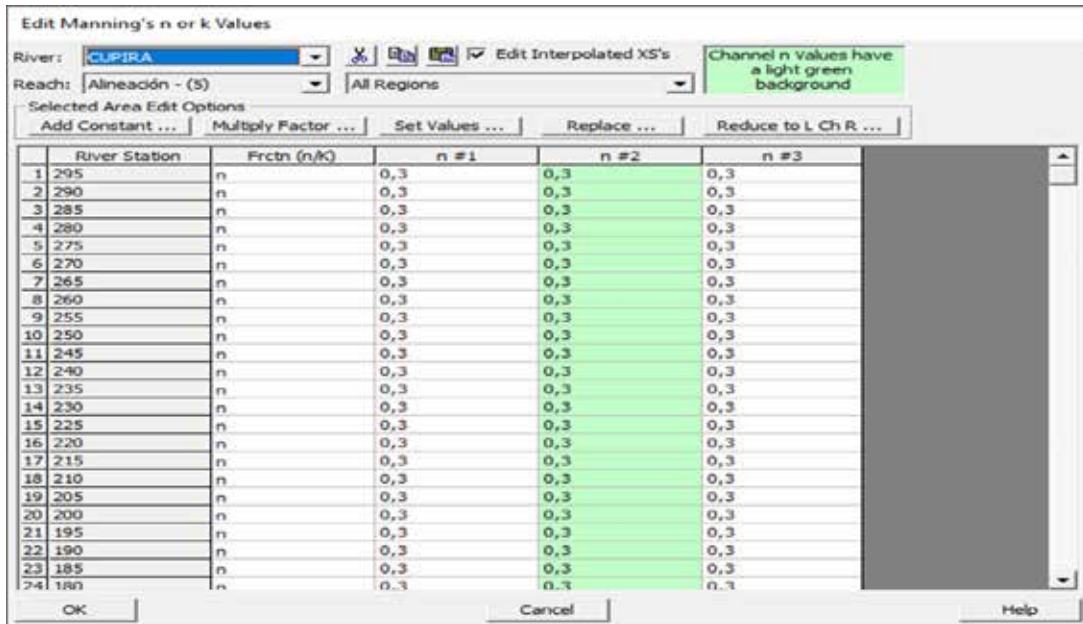


Figura 61: Introducción del coeficiente de Manning.

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Finalmente se obtuvo una vista de planta del cauce desde el programa HEC-RAS con sus respectivas progresivas a cada 5 metros, como se muestra a continuación. (ver figura 62).

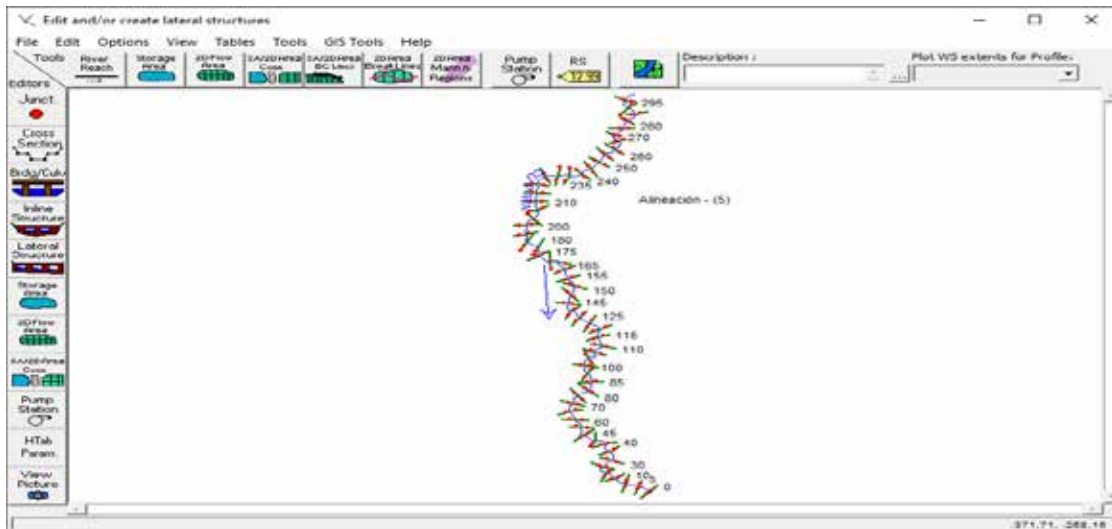


Figura 62: Vista de planta del cauce con sus progresivas

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

- **Ingresar datos del flujo y condiciones de frontera.**

En esta sección, se define el gasto o los gastos, según sea el caso, luego se selecciona el periodo de retorno analizado para la determinada obra hidráulica, en esta investigación se trabajó con 5,10, 25, 50 y 100 años como periodo de retorno, tomando los datos resultantes de los hidrogramas previamente calculados, a su vez se definen las condiciones iniciales y las condiciones de frontera, para iniciar se selecciona “Steady Flow Data” del menú “Edit” que se encuentra en la ventana principal del programa HEC-RAS.

En esta ventana se especifica el número de perfiles a calcular, en esta investigación se tomarán cinco tipos de perfil, ya que se habla de cinco periodos de retorno (Paso 1), los cuales son de 100 años, 50 años, 25 años, 10 años y 5 años con su respectivo caudal máximo, cabe destacar que para el presente trabajo solo se estimó el máximo caudal obtenido en cada periodo de retorno (Paso 2), de manera tal de hacer una comparación entre los casos y evaluar el nivel de agua que alcanza el río. Para definir las condiciones de frontera se oprime el botón “Reach Boundary Conditions” (Paso 3) y aparece la ventana de “Steady Flow Boundary Conditions” (ver figura 63), en la que se dispone de las siguientes opciones: “Known W.S”, “Critical Depth”, “Normal Depth” o “Rating Curve” en inglés o en español se tiene: Nivel de agua, tirante crítico, tirante normal o curva de elevaciones de gasto respectivamente.

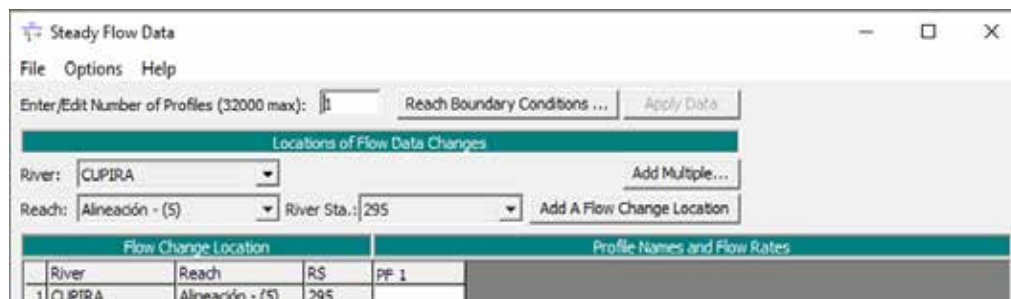


Figura 63: Ventana de introducción de data hidráulica

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

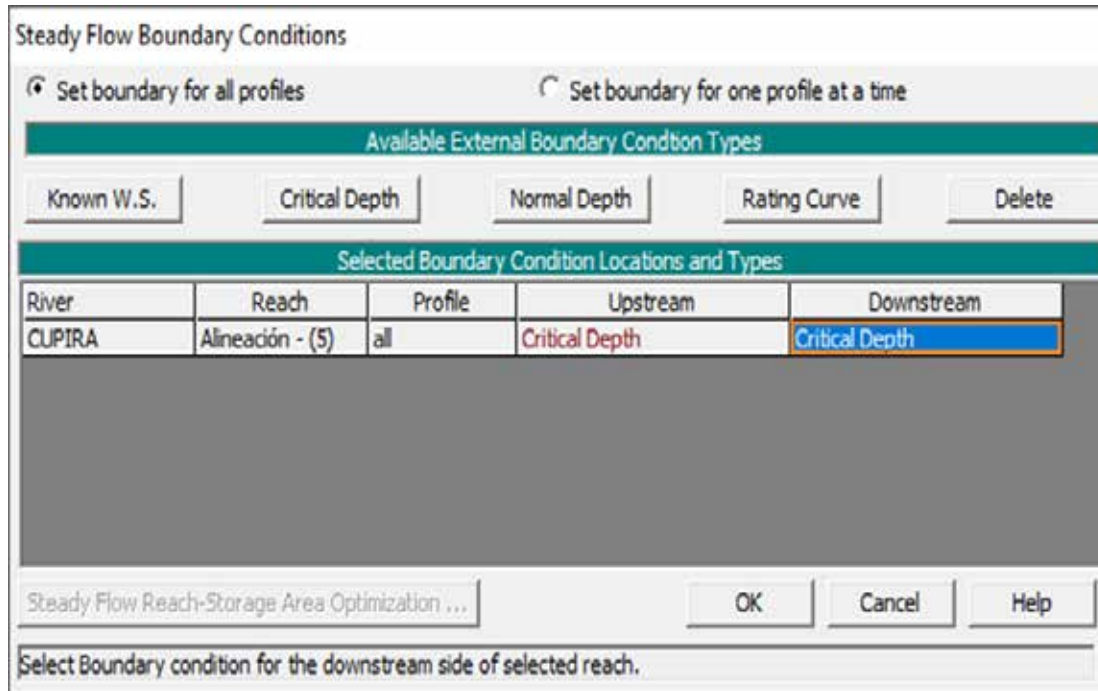


Figura 64: Introducción de condiciones de borde

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

· **Ejecución de cálculos hidráulicos con HEC-RAS:**

Una vez definidos los datos geométricos y los hidráulicos, ya es posible realizar la simulación, esta se realiza desde la ventana “Steady Flow Analysis”, la cual se encuentra en la pestaña “Run” del menú principal del programa HEC-RAS. Para realizar la simulación, es necesario establecer un plan que incorpore tanto los datos geométricos como hidráulicos.

Para crear un plan es preciso seleccionar “New Plan” que se encuentra en el desplegado “File” de la ventana “Steady Flow Analysis” (ver figura 64), es necesario asignarle un nombre y un identificador al nuevo plan, así como seleccionar tanto los archivos de datos geométricos como hidráulicos previamente elaborados, además de elegir el régimen de flujo que se espera encontrar ya sea subcrítico, supercrítico o mixto, en la presente investigación se escoge flujo

subcrítico como se mencionó anteriormente, por último es conveniente guardar el plan en “Save Plan AS”, del menú “File” de la ventana “Steady Flow Analysis”.

Una vez presionado el botón de “Compute”, se abre la siguiente ventana (ver figura 65) e inmediatamente ya se empiezan a realizar todos los cálculos correspondientes para los valores geométricos e hidráulicos introducidos.

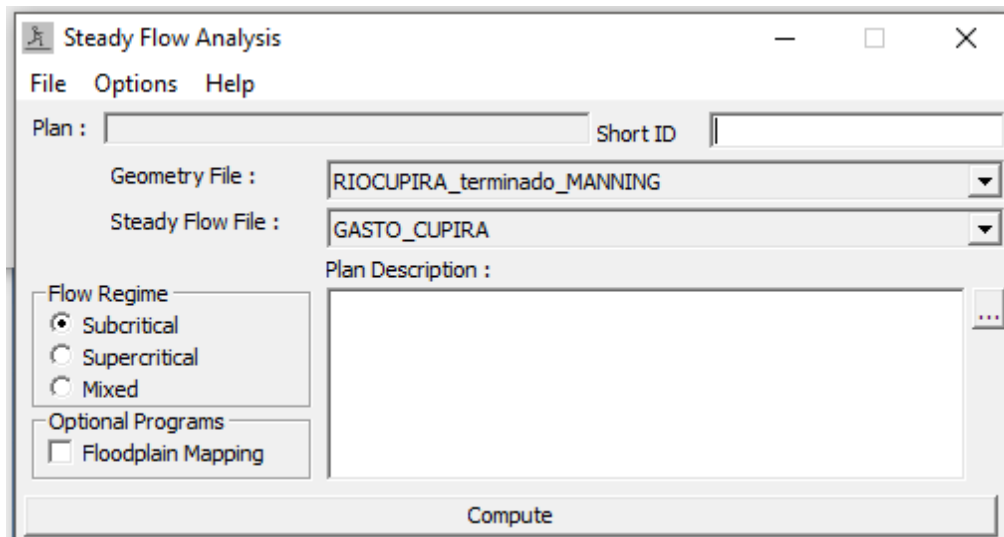


Figura 65: Selección de plan

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

- **Analisis de resultados con HEC-RAS:**

El programa HEC-RAS ofrece una gran variedad de formas en las que se pueden analizar los resultados, destacandose los perfiles de la lamina de agua, perfiles transversales de los tramos, dibujos en perspectiva espacial, curvas de elevaciones vs gastos y tablas de resultados tanto de resumen generico como de detalle, entre muchas otras opciones, las cuales son accesibles desde el menu “View” de la ventana principal de HEC-RAS.

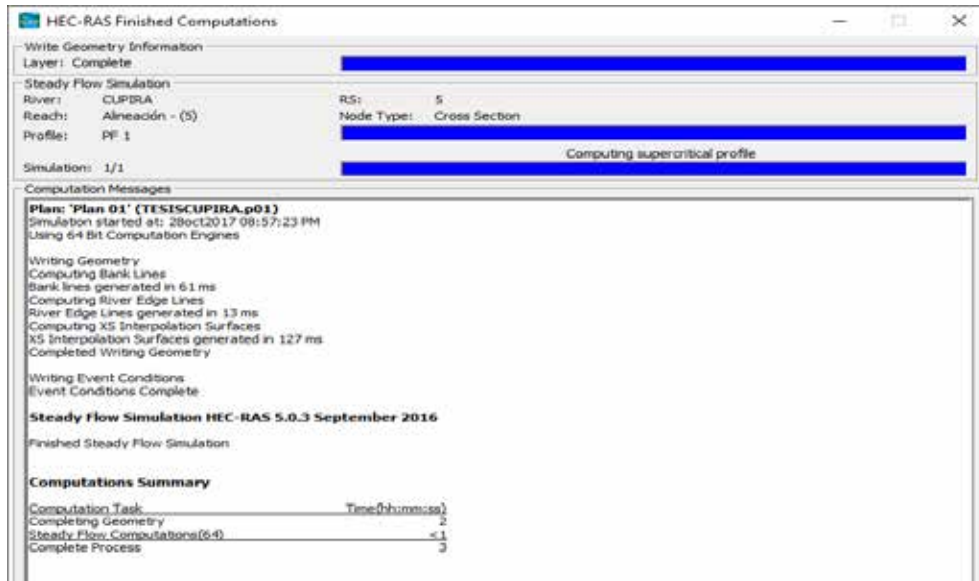


Figura 66: Aprobación de cálculos

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Análisis de resultados para TR=100 AÑOS:

En la figura 67 se muestra el diagrama del canal con perspectiva en perfil vista desde en HEC-RAS, donde se puede apreciar el comportamiento del fluido en el tramo de su cauce con el periodo de retorno seleccionado.

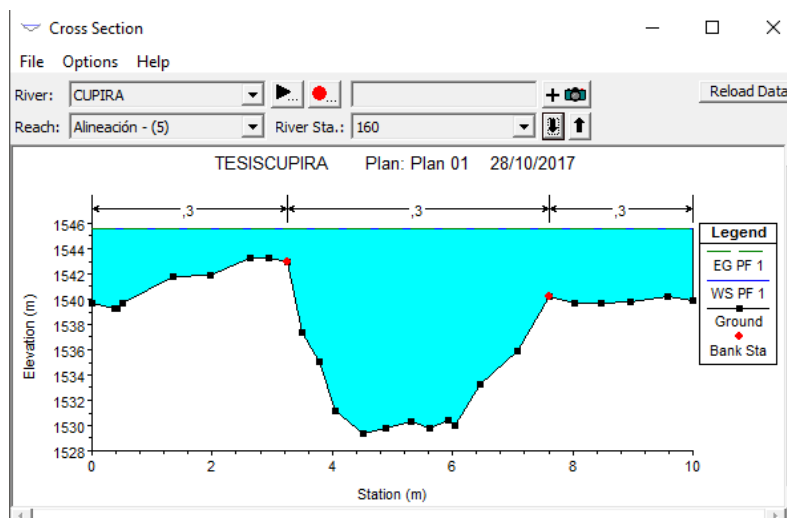


Figura 67: Sección analizada, aprobación de cálculos

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Una vez analizadas todas las secciones del cauce para los diferentes periodos de retorno, se obtuvieron los perfiles resultantes de los cauces como se observó en la figura 67, donde se puede observar la altura del nivel del agua alcanzada en el cauce dando como resultado la inundacion teorica provocada por el evento, siguiendo los paso se obtuvieron las figuras 68, 69, 70, 71 y 72, como los resultados de secciones tipo para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años de retorno.

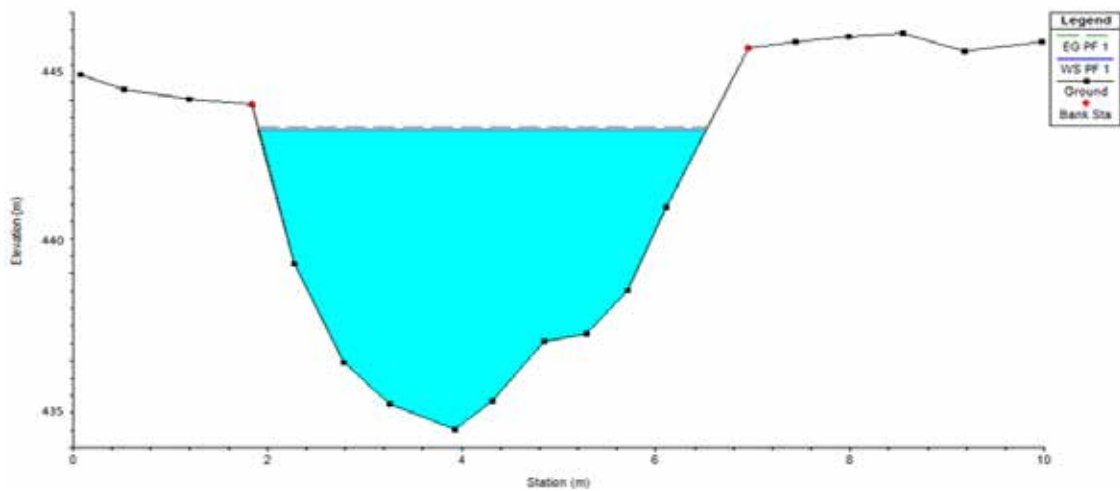


Figura 68: Seccion tipo resultante – Nivel de agua en el cauce, Tr = 5 Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

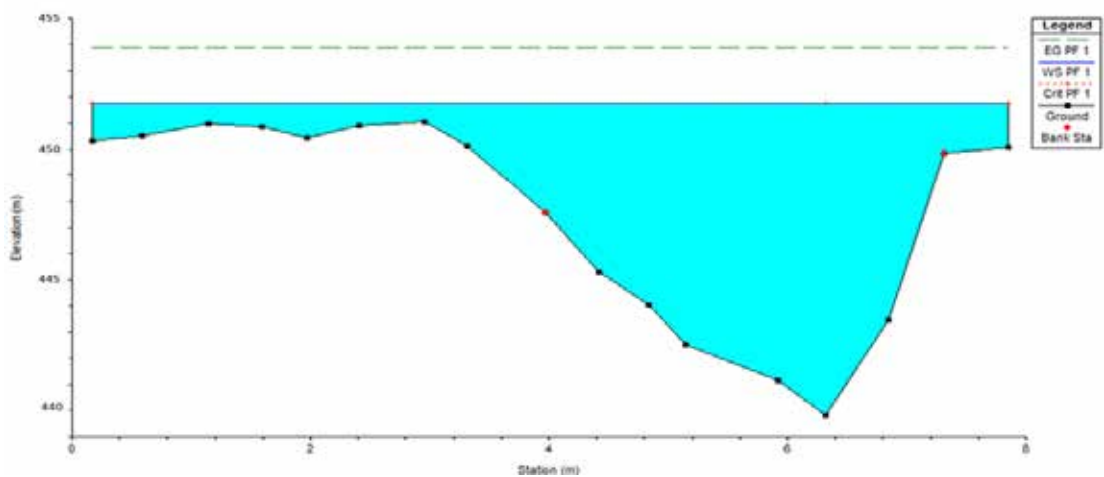


Figura 69: Seccion tipo resultante – Nivel de agua en el cauce, Tr = 10 Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

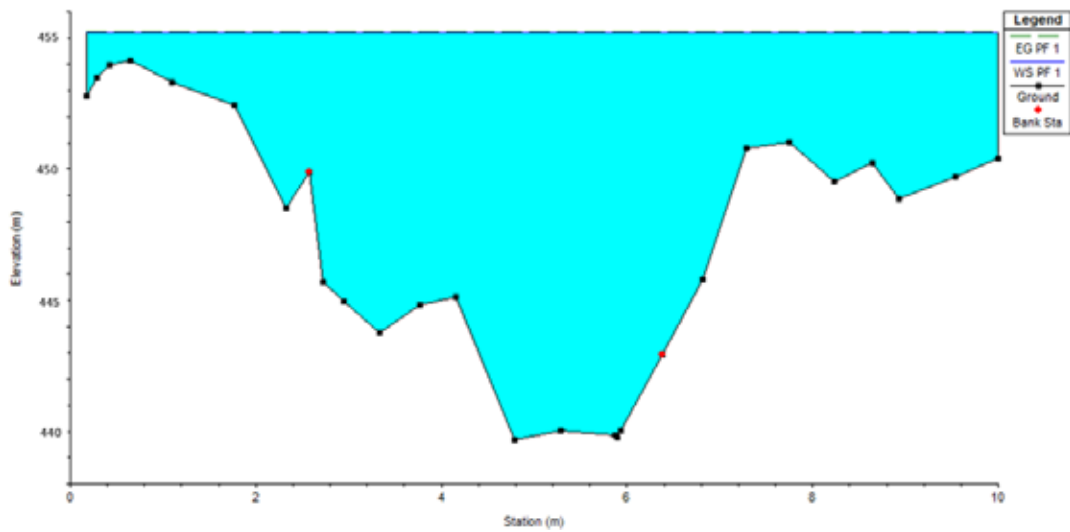


Figura 70: Seccion tipo resultante – Nivel de agua en el cauce, Tr = 25 Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

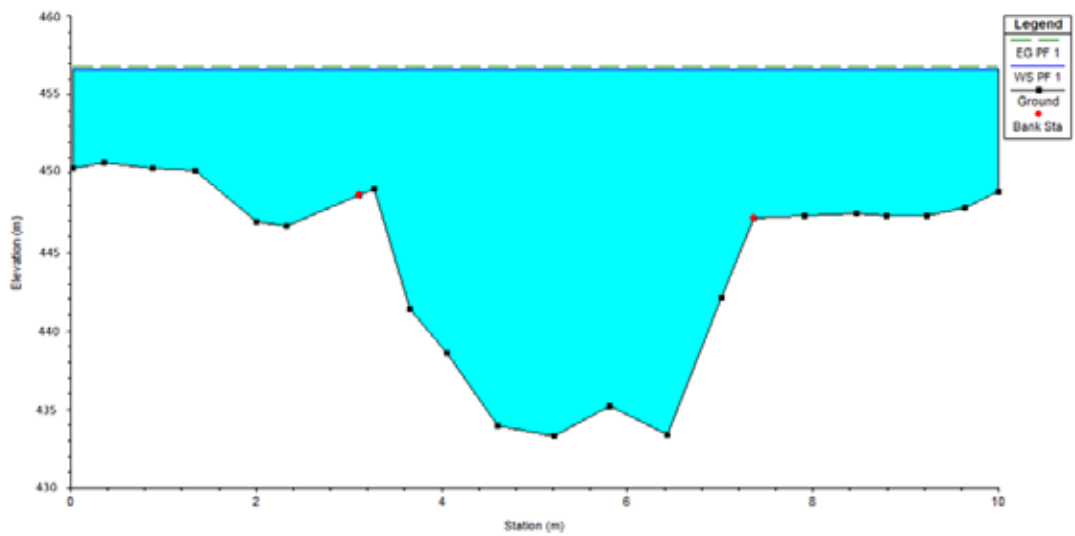


Figura 71: Seccion tipo resultante – Nivel de agua en el cauce, Tr = 50 Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

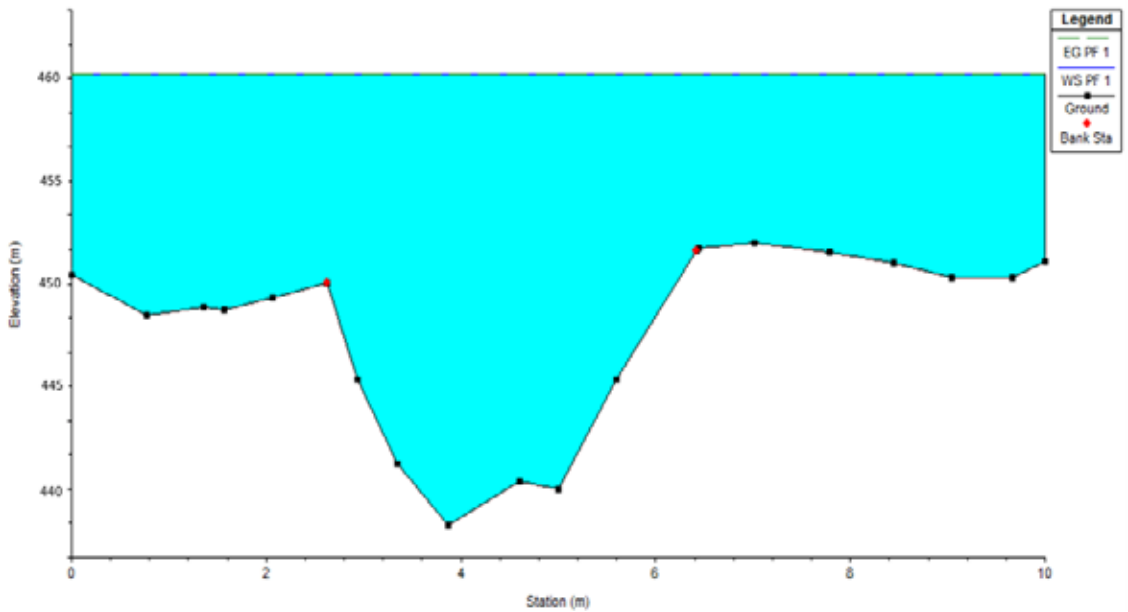


Figura 72: Seccion tipo resultante – Nivel de agua en el cauce, Tr = 100 Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

Una vez obtenidas los resultados de las secciones con la altura del nivel de agua en el cauce en funcion de la intensidad del evento, se procedio a la obtencion y modelacion de la mancha de inundacion mediante HEC-RAS, luego se superpuso sobre el mapa de zonificacion por GOOGLE EARTH para una observacion grafica del alcance de la inundacion, a continuacion en la tabla 37 se presenta las alturas de nivel de agua de inundacion obtenidas en HEC-RAS y en las figuras 73, 74, 75, 76, y 77 las manchas de inundacion obtenidas para los distintos períodos de retorno.

Tabla 38: Alturas teoricas de inundación obtenidas en HEC-RAS

Tr (Años)	Altura (m)
5	2
10	2.5
25	4
50	6
100	10

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

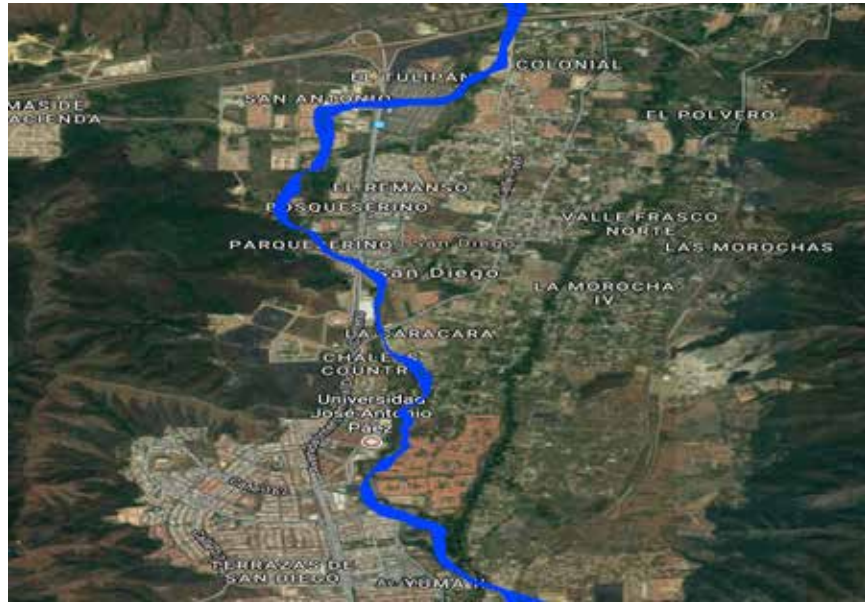


Figura 73: mancha de inundación $Tr = 5$ Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

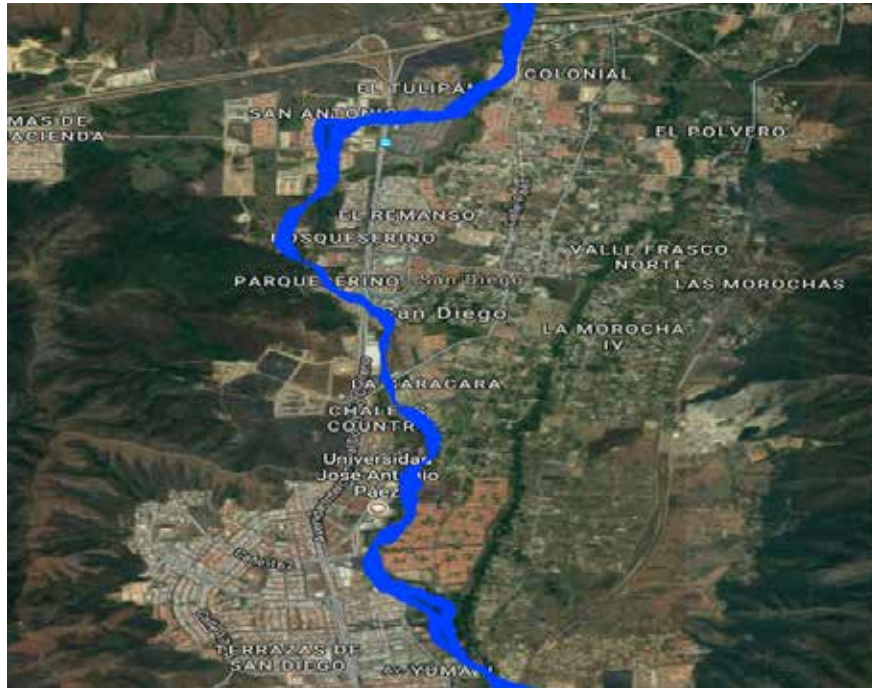


Figura 74: mancha de inundación $Tr = 10$ Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

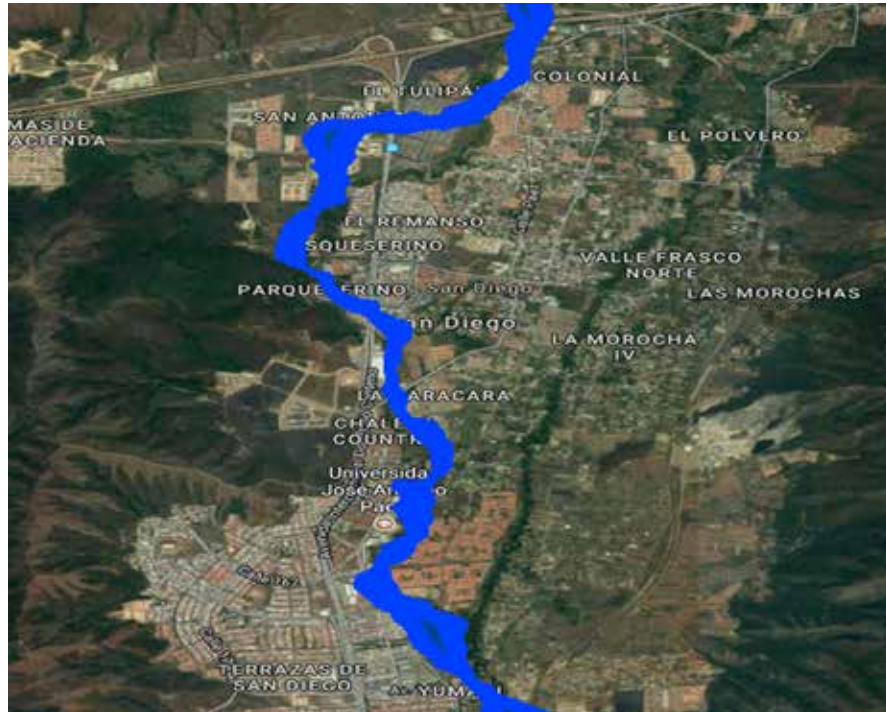


Figura 75: mancha de inundación $Tr = 25$ Años
Fuente: Cupen & Hernández , 2017

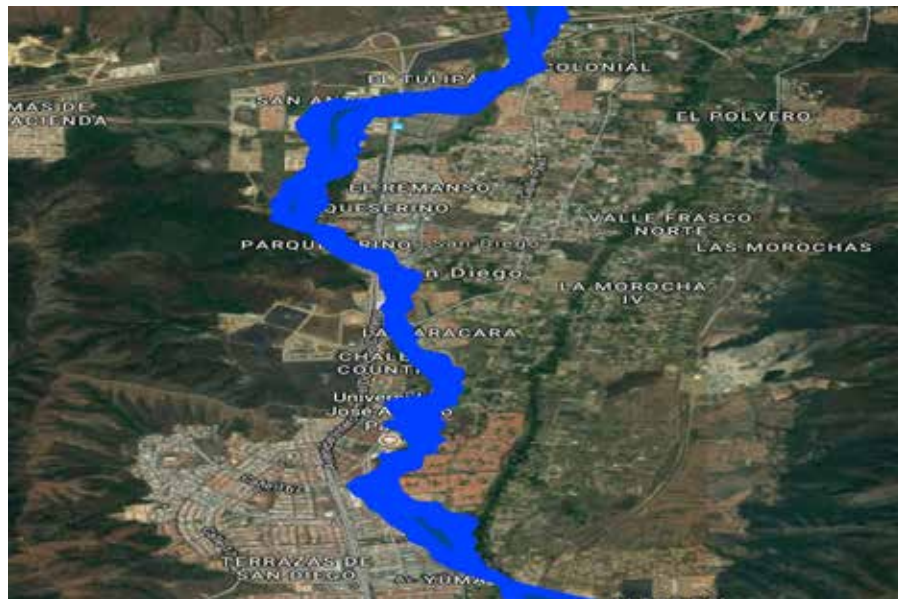


Figura 76: mancha de inundación $Tr = 50$ Años
Fuente: Cupen & Hernández , 2017

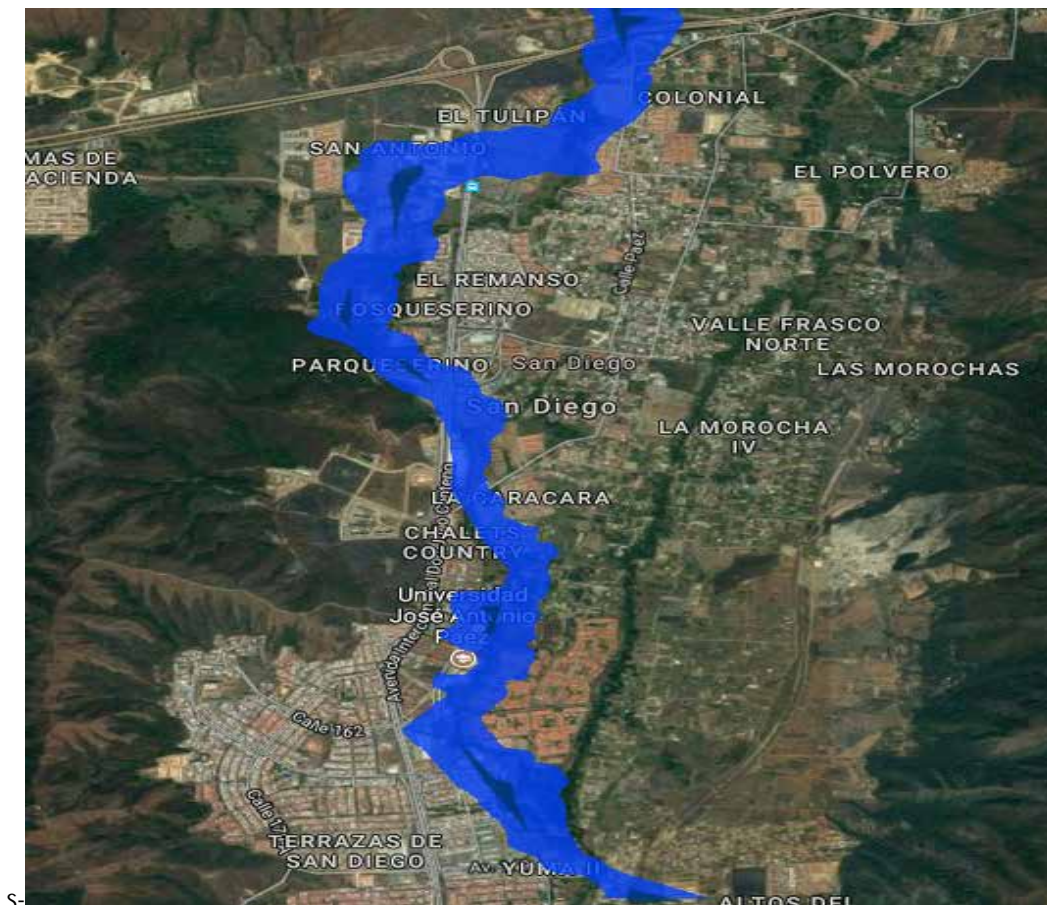


Figura 77: mancha de inundación $Tr = 50$ Años

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

La finalidad de las manchas de inundación resumió el objetivo de la Fase IV del presente trabajo de grado donde se puede apreciar el impacto creciente que tienen las inundaciones a medida que la magnitud de la precipitaciones es mayor, se puede apreciar como para un mancha de inundación para un periodo de retorno de 5 años tiene un efecto en determinadas zonas, mientras que a mancha de inundacion provocada por un a precipitación de un período de retorno de 100 años el efecto que se puede apreciar es considerable en vista de la afectacion que provoca a lo largo del tramo del río Cúpira y sus zonas adyacentes.

4.5 Estimar la vulnerabilidad de las zonas adyacentes al río Cúpira propensas a inundaciones en función del uso del suelo

Todo evento natural tiene sus consecuencias en las zonas donde acontece, cabe destacar que las inundaciones tienen un efecto progresivo en vista del alcance que estas tengan tanto en las adyacencias al cauce donde ocurren como también el efecto que producen aguas abajo.

La importancia de conocer los alcances de las inundaciones radica en la programación de las construcciones de los asentamientos, sean urbanismos, áreas públicas, centro comerciales, industriales, entre otros. Todos estos pueden verse afectados dependiendo de la magnitud del evento y es por esto que es prioritario realizar una estimación de la vulnerabilidad, conocer la posible afectación que pueda tener la inundación y es por ello que en el presente trabajo de grado se estimó la vulnerabilidad de las zonas adyacentes al cauce del río Cúpira basándonos en el alcance de las manchas de inundación.

Para la elaboración del criterio de vulnerabilidad, se procedió a analizar las manchas de inundación en función de las magnitudes que tuvieron respecto al alcance en las localidades adyacentes al río Cúpira partiendo del alcance de la mancha de inundación para un período de retorno de 5 años como zonas con una vulnerabilidad muy alta y culminando en el alcance de la mancha de inundación para un período de retorno de 100 años con una vulnerabilidad muy baja en vista de que el alcance de las aguas se ve reflejado para un evento cuya probabilidad de ocurrencia es muy baja.

A continuación en la figura 78 se muestra el mapa de vulnerabilidad de las zonas adyacentes al río Cúpira resultante de los estudios realizados en la cuenca.

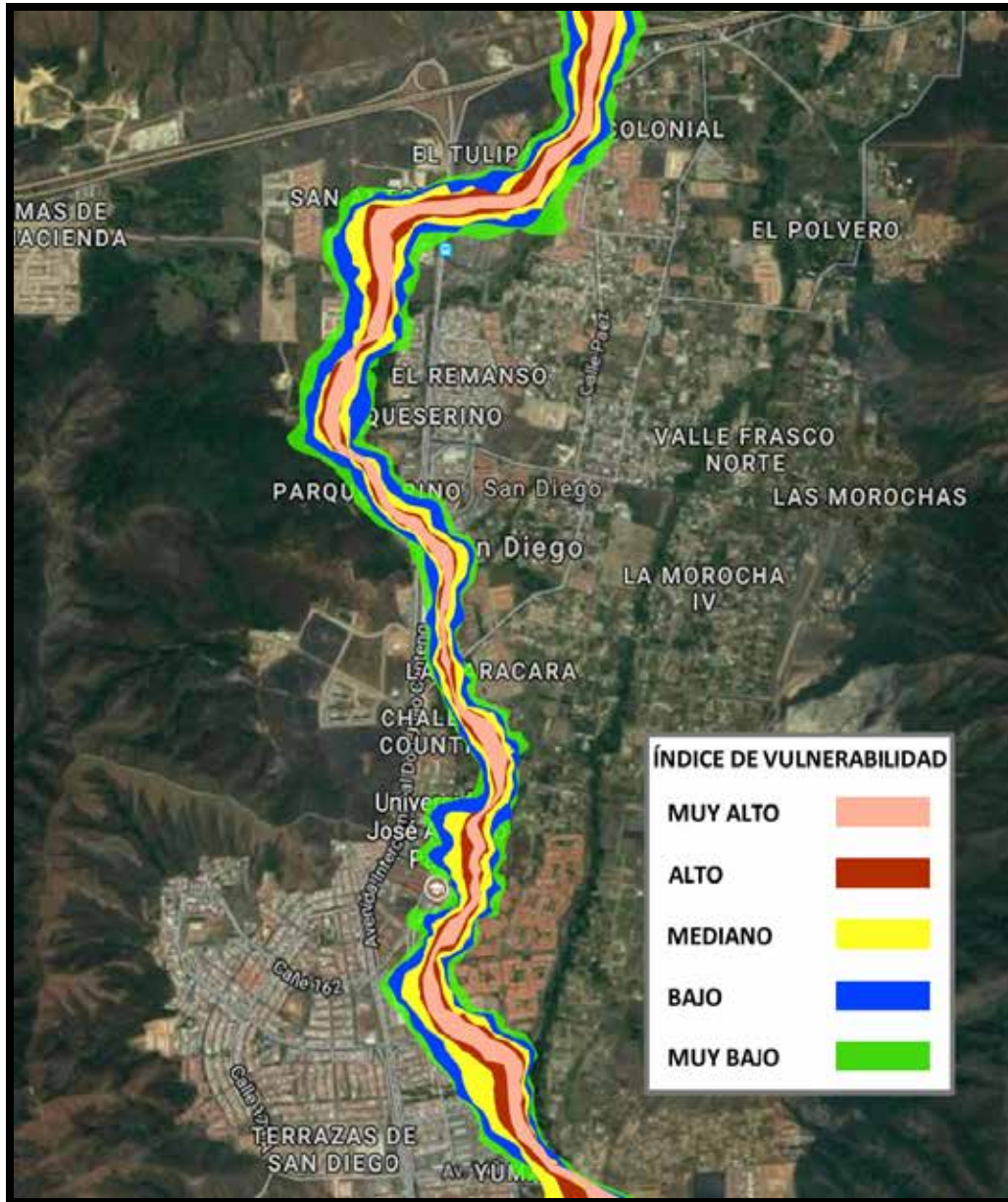


Figura 78: Mapa de vulnerabilidad a inundación

Fuente: Cupen & Hernández , 2017

5 CONCLUSIONES

En vista de los eventos registrados se pudo evidenciar una serie de patrones que fueron de apoyo para elaborar teorías que explicaran la ocurrencia de las inundaciones, entre los cuales destacaron los siguientes:

La Intensidad y duración de las lluvias: es importante destacar que las inundaciones de mayor magnitud ocurrieron luego de periodos prolongados de precipitación continua, se puede inferir que la intensidad de los eventos guarde relación con las lluvias de los periodos de retorno de la cuenca del Río Cúpira.

- **La acumulación de sedimentos:** conforme se producen las lluvias, el paso del flujo a través del río produce un efecto de arrastre, bien sea de terreno natural como también materiales desechados por personas en el cauce del río que obstaculizan el paso del flujo y por lo tanto al disminuir la sección esto se traduce en un incremento de la cota de nivel del agua.
- **La falta de mantenimiento del sistema de drenajes:** todo asentamiento urbano en su planificación de construcción posee una configuración de redes de drenajes las cuales están diseñadas para la conducción tanto de las aguas negras como de las aguas de lluvia, al restar la capacidad para dispersar las aguas de lluvia comienza un proceso de acumulación que incrementa considerablemente las condiciones de inundación aunado al aporte fluvial que es conducido en el cauce del río. Esto puede ser considerado como uno de los factores primordiales en las inundaciones ocurridas al haber mayor cantidad de agua sin ser poder drenada, desplazándose de manera superficial y teniendo como punto final el cauce del río Cúpira.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar un levantamiento topográfico a lo largo de todo el cauce para una optimización de las secciones de todo el río Cúpira, esto permitiría analizar con una mayor precisión su comportamiento hidráulico en vista de que los softwares si bien son herramientas de amplio espectro su precisión y exactitud dependerá de la utilización de los instrumentos mientras que con levantamientos in situ se tendría una comprensión mucho mayor de la configuración e información geomorfológica y topográfica de la zona.
2. Se recomienda complementar con un estudio de suelos a lo largo del río Cúpira en vista de que en la actualidad existen determinados tramos del río donde se han realizado dragados y limpiezas dejando al descubierto capas inferiores del subsuelo cuya composición podría ser contraproducente para el proceso de infiltración de las aguas y por lo tanto contribuir en el proceso de escorrentía superficial.
3. En función de los resultados obtenidos por las manchas de inundación y el mapa de vulnerabilidad, realizar la verificación en base a que áreas pueden estar incumpliendo el rango de retiros mínimos permisibles para la construcción de asentamientos urbanos, comerciales, industriales o campos de trabajo y que puedan verse afectados por efectos del desbordamiento del cauce del río Cúpira en posibles eventos futuros.
4. Verificar el estado del río por la debida presencia de materiales y obstáculos que puedan estar presentes en el cauce y que a su vez puedan contribuir en la factibilidad del desborde el río Cúpira.
5. En vista de los resultados obtenidos de la manchas de inundación y las conclusiones analizadas se plantean las siguientes recomendaciones que

podieran ser aplicadas como medidas preventivas para posibles futuros eventos de inundaciones, entre ellas están:

Realizar las inspecciones y limpiezas rutinarias a lo largo del cauce, esto pudiera incluir dragados en las zonas más críticas, sin necesidad de realizar modificaciones significativas en el terreno natural del río.

Analizar los tramos más críticos y evaluar la posibilidad de realizar canalizaciones o refuerzos en las secciones, bien sea utilizando muros de gaviones. Las consecuencias que podría traer consigo esta recomendación vendría del hecho de modificar la sección natural del cauce y la modificación de las características del terreno lo que produciría una variación del comportamiento hidráulico del río.

En un caso extremo si la frecuencia de inundaciones se incrementa se podría evaluar la posibilidad de realizar un embaulamiento en los tramos más críticos del río Cúpira. La consecuencia mas a priori al igual que en la recomendación pasada es que el hecho de modificar la sección natural del río y cambiarla por secciones de concreto hidráulicamente modificaría el número de Manning y lo que se traduciría en una variación de la velocidad del agua en el cauce, y por lo tanto podría ocasionar efectos más contraproducentes.

6. El presente trabajo de grado adicionalmente tiene opciones abiertas a numerosos estudios posteriores en los cuales podría servir de aporte para su realización, trabajos que pudieran ser:

Estudios y análisis de socavación en los puentes a los cuales el río Cúpira atraviesa a lo largo de su cauce.

La realización del estudio del hidrológico e hidráulico del río los Guayos, tomando como base el caudal que aporta el río Cúpira, y adicionándole también la información recabada del río San Diego.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2006).** *El Proyecto de Investigación Introducción a la Metodología Científica*. Caracas: EPISTEME C.A
- Arrieche G. Diego, de Cristofaro P. Claudio, (2017).** *Trabajo de grado, impacto de la variación del coeficiente de escorrentía sobre los caudales del río Cúpira en el puente Valle de Oro ubicado en el municipio San Diego del estado carabobo*. Universidad José Antonio Páez.pdf
- Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, (2009).** *Ley de Gestión Integral de Riesgos Socio naturales y Tecnológicos (Gaceta Oficial N° 39.095 del 9 de enero de 2009)*.
http://www.ifrc.org/docs/IDRL/Venezuela-ley_G.I.R.S.T.pdf
- Aura Herminia Párraga M. (2010).** *Estudios de suelos de puente sobre el Río Cúpira sector Valle de Oro*.
- Baker, V. y Costa, J (1987).** *Catastrophic Flooding*, Allen and Unwin, London, pp 1 -21.
- Bell, F. C., (1969).** *Generalized rainfall duration-frequency relationships, Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, vol. 95, p. 311-327.
- Candia, M. (2014).** *Análisis de riesgo por inundación en la zona metropolitana de San Luis Potosí*.<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4208390.pdf>.
- Cervantes, C. (2010).** *Generación de mapas de riesgo de inundación mediante modelación 2d*.<https://www.google.co.ve/.ptolomeo.unam.mx>.
- Clark, C.O (1945).** *Storage and the Unit Hydrograph. Proc. Amer. Soc. Engineers*. Vol 69. P 1333-1360.
- Constitución República Bolivariana de Venezuela (2000)**.<http://venezuela.justicia.com/federales/constitucion-de-la-republica-bolivariana-de-venezuela/titulo-iii/capitulo-ix/>

- Departamento de Medio Ambiente del Banco Mundial, (2016).** *Libro de Consulta para Evaluación Ambiental (Volumen I; II y III). Trabajos Técnicos del Departamento de Medio Ambiente del Banco Mundial.*
https://es.wikipedia.org/wiki/Alternativa_de_proyecto_de_protecci%C3%B3n_contra_inundaciones.
- Dunne, T Leopold, L (1978).** *Water in Environmental Planning.* W.H. Freeman and Co, New York.
- Figueira Manuel, Zuñiga Tahimy (2012).** *Trabajo de Grado, Guía orientadora para los estudios de suelos para distintas zonas en el municipio San Diego, estado Carabobo.* Universidad José Antonio Páez.pdf
- Finol de Franco, M., & Camacho, H. (2008).** *El Proceso de Investigación Científica Maracaibo:* Ediluz.
- Franceschi, A., Luis E. (1983)** *Drenaje Vial.* Fondo editorial del Colegio de Ingenieros de Venezuela. Caracas.
- Ledoux, B (1995).** *Les catastrophes naturelles en France, Documents Payot, Paris,* pp 455.
- Ley de aguas ,(2007).**www.uc.edu.ve/mega_uc/archivos/leyes/ley_de_Aguas.pdf
- Ley de ambiente, (2007).**www.mp.gob.ve/ley_penal_del_ambiente.html
- Ley Orgánica del Ambiente, (2006).**<http://www.mp.gob.ve/LODA>
- Libertador, U. P. (2002).** *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales.* Caracas: FEDUPEL.
- Lozano Cortijo, O. (2009).** *Plataforma temática riesgo urbano.*
<http://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/olga-lozano.pdf>
- Luna Vera, J. (2013).** *Un método para el análisis de frecuencia regional de lluvias máximas diarias: aplicación en los Andes bolivianos.*

http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071833052013000100010

Marvez Oswaldo, Guedez Gabriel (2017), *Trabajo de grado, estudio de socavación y análisis de Crecidas en puente ubicado en tramo Av. Alameda central – av. Sesquicentenario, Municipio Valencia edo. Carabobo*, Universidad José Antonio Páez.pdf

Mateu, (1990). *Geomorfología litoral i quaternari.pdf*. Universidad de Valencia

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España. (2013). *propuesta de mínimos para la metodología de realización de los mapas de riesgo de inundación*. <http://www.mapama.gob.es/es/>

Niño, K. (2012). *Análisis para la gestión del riesgo de inundaciones en Bogotá: Un enfoque desde la construcción social del riesgo*. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/15414/Ni%C3%B1oFierroKarenNatalia2012.pdf?sequence=1>

Noriega, O. (2011). *Análisis de la vulnerabilidad y el riesgo a inundaciones en la cuenca baja del río Guaira, en el Distrito de Santa Marta*. <http://www.tysmagazine.com/riesgos-naturales-y-planificacion-urbanistica/>

Olcina, G (1994). *Riesgos climáticos en la península ibérica*, Madrid, Pentatlón

Ollero, A (1996). *Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico, un planteamiento didáctico*. <http://www.ingeba.org/lurralde/ollero20.html>

Ortega, (1991). *El plan nacional de obras hidráulicas*. Madrid. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, pp. 333-364

Pardé, (1961), *la geografía de los riesgos*. Universidad de Barcelona. <http://www.ub.edu/geocrit/geo54.html>.

Panizza, (1988) *Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico, un planteamiento didáctico*. <http://www.ingeba.org/lurralde/ollero20.html>

- Sabino, C. (1992).** *El Proceso de Investigación* Caracas: Panapo.
- Saghafian, B., Julien, P., and Rajaie. (2002)** H. Runoff Hydrograph Simulation Based on Time Variable Isochrone Technique. *Journal of Hydrology*. Vol. 261, pp. 193-203.
- Taboada, J. (2014).** Riesgos naturales y planificación urbanística. <http://www.tysmagazine.com/riesgos-naturales-y-planificacionurbanistica/>
- Tamayo y Tamayo, M. (2003).** *El Proceso de la Investigación Científica*. Mexico DF: LIMUSA. S.A.
- Témez, J. (1978).** *Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Dirección General de Carreteras. Madrid. España. 111p.
- Terzaghi, Karl, Peck, Ralph (1973).** *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. Librería El Ateneo. Editorial, Barcelona.
- Tricart, (1992).** *Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico, un planteamiento didáctico*. [http:// www.ingeba.org/lurralde/ollero20.html](http://www.ingeba.org/lurralde/ollero20.html)
- Velásquez, C. (2011).** *Metodología de Evaluación Probabilista de Riesgos Naturales* .<HTTP://www.ecapra.org/es/metodolog%C3%Aa-deevaluación-probabilista-de-riesgos-naturales>
- Ward, (1978).** *la geografía de los riesgos*. McMillian Press, Ltd. London, pp 244
- Whittow, (1988).** *Diccionario de geografía física*, Madrid, España, Alianza Editorial.